

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh vhodné technologie broušení, optimalizace
řezných podmínek a vhodné měřicí metody pro výrobu
monolitních soustružnických nožů

Proposal of the Appropriate Grinding Technology, Optimization of Cutting Conditions
and of the Appropriate Measuring Methods for Production Monolith Turning Tools

Student:

Zdeněk Koreník

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Vortel

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student:

Zdeněk Korenčík

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Návrh vhodné technologie broušení, optimalizace řezných podmínek
vhodné měřicí metody pro výrobu monolitních soustružnických noží
Proposal of the Appropriate Grinding Technology, Optimization of
Cutting Conditions and of the Appropriate Measuring Method for
Production Monolith Turning Tools

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Broušení tvrdých materiálů.
3. Návrh technologie výroby dané součásti.
4. Metodika měření součásti.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Vortel**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 4. 5. 2015

..... Zdeněk Koreník
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 14. 5. 2015


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Zdeněk Korenčík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Potočná 65, 793 43 Stará Ves

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce, panu Ing. Ondřeji Vortelovi, procesnímu inženýrovi ve firmě Pramet, za cenné rady a připomínky, jeho ochotu a dobrý přístup.

Dále bych chtěl poděkovat také firmě Pramet, v níž byla bakalářská práce prováděna, za umožnění použití jejich měřicích zařízení a nahlédnutí do struktury firmy s vysokou technickou vyspělostí.

Velké dík také patří panu Ing. Konstantinovi Kavrentzisovi, procesnímu inženýrovi ve firmě Pramet, za jeho ochotu, čas a trpělivost při tvorbě bakalářské práce.

Anotace bakalářské práce

KORENÍK, Zdeněk. Návrh vhodné technologie broušení, optimalizace řezných podmínek a vhodné měřicí metody pro výrobu monolitních soustružnických nožů. Ostrava, 2015. 54 s. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, fakulta strojní, katedra obrábění a montáže. Vedoucí práce Ing. Ondřej Vortel.

Bakalářská práce se zabývá zvolením vhodné technologie broušení, optimalizací řezných podmínek a měřením rozměrů hotového výrobku, monolitního soustružnického nože ze slinutého karbidu. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V první části jsou uvedeny základní informace týkající se broušení a slinutých karbidů. Praktická část popisuje technické parametry brousícího centra, na kterém se daný nástroj vyráběl. Velká pozornost je věnována měření a kontrole rozměrů hotového výrobku. V závěru je rozebráno technicko-ekonomické zhodnocení včetně popsání největších optimalizací provedených při výrobě nástroje, jež zkrátily výsledný výrobní čas.

Annotation of bachelor thesis

KORENÍK, Zdeněk. Proposal of the Appropriate Grinding Technology, Optimization of Cutting Conditions and of the Appropriate Measuring Methods for Production Monolith Turning Tools. Ostrava, 2015. 54 p. Bachelor Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly

The bachelor's thesis deals with choosing appropriate grinding technology, optimization of cutting conditions, and measuring dimensions of a certain product – a monolith turning tool made of cemented carbide. The thesis is divided into the theoretical and practical part. The first part includes the basic information about grinding and cemented carbide. The practical part describes the technical parameters of a grinding center where the turning tool was produced. The main attention is focused on measuring and controlling the dimensions of the fabricated product. The technical and economic evaluation together with the description of the main optimization techniques performed at the production of the tool that lead to the final production time reduction are described in the conclusion of the thesis.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Úvod.....	10
1 Obecná charakteristika daného problému	11
1.1 O firmě Pramet.....	11
1.2 Charakteristika problematiky	12
2 Broušení tvrdých materiálů	12
2.1 Druhy broušení.....	13
2.2 Metody broušení.....	14
2.3 Brusné kotouče	14
2.3.1 Druhy abraziva	14
2.3.2 Druhy pojiva	15
2.3.3 Velikost a koncentrace zrn	17
2.3.4 Základní tělesa, materiál, tvary kotoučů.....	19
2.3.5 Čištění, orovnávaní, zdrsnění, profilování.....	20
2.4 Slinuté karbidy.....	20
2.4.1 Rozdělení slinutých karbidů	20
2.4.2 Chemické složení.....	21
2.4.3 Mechanické a fyzikální vlastnosti slinutých karbidů typu WC-Co	22
3 Návrh technologie výroby dané součásti	25
3.1 Polotovar.....	25
3.2 Brousící centrum	26
3.2.1 Systém upínání brusných kotoučů	27
3.2.2 Systém upnutí obrobku.....	28
3.2.3 Procesní kapalina	29
3.2.4 Programové prostředí	29
3.3 Sled operací, použité nástroje, řezné podmínky.....	30
3.3.1 Broušení, odlehčení a R3.....	30
3.3.2 Broušení fazety 65°	31
3.3.3 Broušení plochy čela a zkosení 45°	31
3.3.4 Broušení 40° zleva (hlavní hřbet)	32
3.3.5 Broušení 40° zepředu	33
3.3.6 Broušení 72° zepředu	34

3.3.7	Broušení 43°	34
3.3.8	Broušení obvodu a fazetky	35
3.3.9	Zaoblení řezné hrany.....	36
4	Metodika měření součásti	37
4.1	Lupa	37
4.2	Třmenový mikrometr	37
4.3	Měřicí mikroskop	39
4.4	Profilprojektor	40
4.5	Konturograf (profiloměr, perthometr).....	41
5	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	44
6	Závěr	47
7	Seznam použité literatury	48
8	Seznam příloh.....	51

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Význam	Jednotka
Al_2O_3	oxid hlinitý	-
B_4C	karbid boru	-
CBN	kubický nitrid boru	-
CNC	computer numeric control	-
Kt	karát	-
NbC	karbid niobu	-
NC	numeric control	-
PKD	polykrystalický diamant	-
rpm	otáčky za minutu	-
SHPG	super high performance grinding	-
SiC	karbid křemíku	-
SK	slinutý karbid	-
SKM	kovové pojivo	-
TiC	titan karbid	-
TaC	tantal karbid	-
WC	wolframkarbid	-
\varnothing	průměr	mm
ρ	měrná hmotnost	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Úvod

Využití broušení ve výrobě je v dnešní době neodstranitelnou pasáží nejen při dokončovacích operacích, ale i při kompletní výrobě určitých produktů. Na kvality výrobků jako jsou drsnost povrchu, rozměrová přesnost, tvarová přesnost bývají kladeny čím dál větší nároky, tudíž je broušení velice častou a v některých případech nenahraditelnou metodou dokončování. Zvláště při obrábění velmi tvrdých materiálů, např. slinutých karbidů, slinuté karbidy, je broušení neodmyslitelnou součástí technologického postupu výroby.

Zaměření bakalářské práce staví, jak už název napovídá, na zvolení vhodné technologie broušení, optimalizaci řezných podmínek a návrhu měřicí metody s ohledem především na co možná nejnížší cenu výsledného produktu – monolitního soustružnického nože ze slinutého karbidu

Práci lze rozdělit na dva větší úseky. V prvním z nich bude čtenář seznámen s charakteristikou daného problému. Dále bude rozebrána problematika materiálu broušeného výrobku, jeho mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. V následující kapitole budou podány základní informace o brusných kotoučích, zejména o jejich typech, druzích abraziv, pojiv apod. V neposlední řadě bude tato část bakalářské práce věnována i rozdělení typů broušení.

Druhý úsek věnuje pozornost technologii broušení daného soustružnického nože. Bude popsáno brousící centrum ISOG Flexus Invader, na kterém byly prováděny veškeré brusné operace. Dále budou podány základní informace o programovém prostředí daného stroje. V této kapitole budou popsány operace broušení, přehled použitých brusných kotoučů a jejich řezné podmínky. Další kapitola je zaměřena na metodiku měření a kontroly dané součásti. Rozepsány budou jak metody kontroly pro délkové rozměry, tak metody pro tvarové a úhlové rozměry. Ve finální části tohoto úseku bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

1 Obecná charakteristika daného problému

1.1 O firmě Pramet

Bakalářská práce vznikala ve spolupráci s firmou Pramet, která se zabývá vývojem, výrobou a prodejem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu (dále SK). Všechny její produkty jsou vyráběny v České republice a následně prodávány pomocí sítě poboček a řady smluvních partnerů.

V posledních deseti letech bylo cílem společnosti především rozvinout obchodní síť a export. Nyní si nástroje této firmy nacházejí zákazníky ve více než padesáti zemích světa.



obr. 1.1 – Ochranná značka společnosti Pramet. [24]

Firma Pramet nabízí široké spektrum nástrojů v oblasti všeobecného obrábění. V současné době se společnost specializuje na segmenty železnice a metalurgie, ve kterých firma vyvinula a nabízí řadu inovativních řešení.

Jelikož si je podnik vědom dopadu průmyslové produkce na životní prostředí, implementoval do své výroby integrovaný systém řízení a aktivně aplikuje politiku minimalizace dopadů výroby na životní prostředí všude tam, kde firma působí.

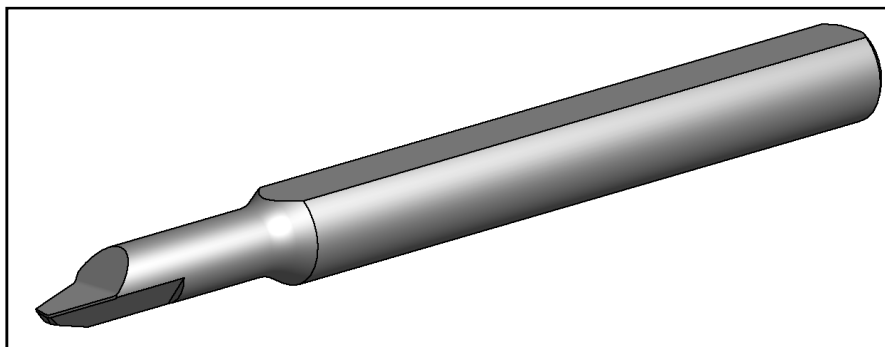
V průběhu spolupráce došlo ke spojení firmy Pramet Tools a předního výrobce monolitních nástrojů Dormer Tools. Díky tomu získává zákazník z jednoho zdroje velmi obsáhlé portfolio jak nástrojů destičkových, tak monolitních.



obr. 1.2 – Ochranná značka společnosti Dormer Pramet. [19]

1.2 Charakteristika problematiky

Cílem práce je vytvořit monolitní soustružnický nůž ze slinutého karbidu (obr. 1.3), který najde své uplatnění při soustružení dutin, respektive soustružení sedel ventilů pro hlavy motorů. Cena tohoto nože je stanovena přibližně na 500 Kč za kus. S přihlédnutím k tomuto faktu a také skutečnosti, že se nejedná o standardizovaný výrobek, bude nutná optimalizace brusných podmínek a technologie výroby pro dosažení nejkratšího času na výrobu jednoho kusu.



obr. 1.3 – Model soustružnického nože.

V průběhu výroby budou probíhat konzultace se zákazníkem a testování výrobku na jeho pracovišti. Podle jeho návrhů a připomínek se bude zasahovat do geometrie nástroje.

2 Broušení tvrdých materiálů

Jak již bylo uvedeno, slinuté karbidy jsou velmi tvrdým materiálem. Jedinou možností přesného obrábění tohoto materiálu je broušení. Díky tomu je zajištěna vysoká preciznost a geometrická tolerance daného výrobku. Pomocí lisování substrátu SK do jednoduchého tvaru připomínajícího finální výrobek je šetřen čas a brusné kotouče při následném broušení. Tohoto bude využito například u sériové výroby vyměnitelných břitových destiček, kde by příprava polotovaru například z plné tyče čtvercového průřezu byla ekonomicky nevýhodná. V některých případech však lisování do zjednodušeného tvaru nepomůže, a tak především u nástrojů konajících rotační pohyb, např. vrtáky, frézy, výhrubníky atd., je vybroušení celého profilu z polotovaru kruhového průřezu nutností. Tento způsob výroby bude využit i pro výrobu našeho monolitního soustružnického nože, kdy polotovarem bude tyč kruhového průřezu se zbroušenou ploškou.

Broušení se řadí do abrazivních metod obrábění. Tyto metody jsou tvořeny především nástroji, které nemají přesně definovanou geometrii břitu. Je to metoda, u které dochází vlivem tvrdých, neuspořádaně uložených zrn v kotouči ke hromadnému rychlostnímu mikrořezání povrchu obrobku. [3]

2.1 Druhy broušení

Existuje celá řada rozličných druhů broušení, jejichž klasifikace se v literatuře různí. V následujících odstavcích proto budou uvedena rozdělení broušení dle učební opory VŠB-TUO Nové směry v progresivním obrábění. Druhy broušení lze tedy rozdělit následujícím způsobem:

Podle tvaru obrobené plochy [21]

- rovinné broušení (pro rovinné plochy),
- broušení dokulata (pro rotační plochy),
- broušení na otáčivém stole (broušení rotačním posuvem),
- tvarové broušení (výroba ozubených ploch, závitů,...),
- kopírovací broušení (na NC a CNC strojích),
- broušení tvarovými brousícími kotouči (pro tvarové plochy).

Podle aktivní části brousícího kotouče [21]

- obvodové broušení, kdy je plocha obrobku broušena obvodem kotouče.
- čelní broušení, kdy je povrch obrobku broušen čelem kotouče.

Podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k brousícímu kotouči [21]

- Axiální broušení, kdy je osa kotouče rovnoběžná s posuvem stolu.
- Radiální broušení, kdy je hlavní posuv radiální vzhledem k brousícímu kotouči.
- Tangenciální broušení nastává tehdy, je-li hlavní posuv stolu rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče ve zvoleném bodě.
- Obvodové zapichovací broušení nastává tehdy, pokud je posuv stolu plynulý radiální.
- Čelní zapichovací broušení nastává, pokud je pohyb stolu plynulý axiální.

2.2 Metody broušení

Stejně jako druhy broušení, i metody se dělí do více podskupin a každá literatura uvádí rozlišné dělení. Rozdělení metod broušení bude opět provedeno pomocí literatury zmíněné v předchozí podkapitole.

Základní metody broušení se dají rozdělit na následující podskupiny:

Vnější broušení „dokulata“ [21]

- s podélným posuvem,
- s příčným posuvem (zapichovací),
- kotoučem nastaveným na rozměr,
- krokové (s příčným i podélným posuvem),
- bezhroté (průběžné zapichovací, broušení na doraz),
- bezhroté v tuhých opěrách.

Vnitřní broušení „dokulata“ [21]

- bezhroté,
- bezhroté v tuhých oporách.

Broušení na plocho (broušení rovinné) [21]

- obvodem brusného kotouče,
- čelem brusného kotouče.

2.3 Brusné kotouče

Brusné kotouče tvoří převážnou část sortimentu pro broušení materiálů. Jinými tvary brusných těles mohou být například brusné segmenty, tělíška, pásy apod. Kotouče mají však největší zastoupení a uplatnění. Jsou tvořeny tělem, na kterém je nanesena vrstva brusného materiálu a pojiva. Kvůli nerovnoměrnému rozprostření a rozdílné velikosti brusných zrn v brusném kotouči mají za následek nerovnoměrný úběr třísky z obrobku. Materiál obrobku ubírají vždy nejvíce vystouplá zrna. Až se opotřebí (zlomí, otupí), začnou obrábět další, hlouběji uložená. [1]

2.3.1 Druhy abraziva

Na trhu je celá řada různých druhů abraziv. Každé je ve spojení se správnou vazbou vhodné pro broušení odlišných materiálů. Může se jednat o přírodní materiály, jako je

například kazivec, křemen, korund, diamant. Více je však používáno umělých materiálů, jako je například keramika, s největším zastoupením oxidu hlinitého Al_2O_3 . Dále karbidy, jejichž zástupci jsou karbid křemíku SiC a karbid boru B_4C . Skupina, kterou tvoří materiály pro obrábění těch nejtvrdších materiálů, obsahuje abraziva, jako je kubický nitrid boru CBN a syntetický diamant. [2]

- Diamant, popřípadě syntetický diamant, je pro náš účel nejvhodnější, protože je nejtvrdším známým materiálem. Jedná se o čistý uhlík, který má kubickou mřížku. Přírodní cestou vzniká za velmi vysokých teplot a tlaků. Tyto podmínky jsou jedině v sopkách a na rozmezí tektonických desek, proto se většina diamantu těží ve vyhaslých sopkách Afriky, Brazílie a Austrálie, kde byla dříve vysoká tektonická aktivita. Syntetický diamant vzniká opět za vysokých teplot a tlaků, ovšem už ve speciálních zařízeních. Při syntéze se nejčastěji taví grafit a katalyzátor (kov – chrom, nikl, železo...). Následně atomy uhlíku mění svou hexagonální mřížku na kubickou, typickou pro diamant. [3]

2.3.2 Druhy pojiva

Pojivo slouží ke stmelení pevných brusných částí kotouče. Musí být navrženo tak, aby se otupená zrna mohla uvolnit a být tak nahrazena novými, což ovlivňuje životnost kotouče a tvarovou stálost. Pokud bude pro operaci broušení vybrán kotouč s měkkým pojivem, bude tento kotouč brousit s velkým výkonem při broušení, při malém tlaku, avšak s kratší životností. Bude-li naopak vybrán kotouč s tvrdým pojivem, docílí se velké životnosti při nižším výkonu a větším přitlaku.

2.3.2.1 Pryskyřičné pojivo

Též známo pod pojmem bakelit. Základem jsou fenolové nebo polyamidové pryskyřice. Jedná se o nejpoužívanější pojivo, hlavně díky jeho vysoké efektivnosti při broušení (vysoké odběrné výkony a nízká spotřeba síly). Pomocí pryskyřičného pojiva je dosaženo nižšího vývinu nežádoucího tepla při broušení. Vyniká též dobrými samo-ostřicími vlastnostmi. Kotouče se používají s chlazením. S pomocí tohoto pojiva je dosaženo vysoké kvality povrchu a to především díky nízké zubatosti břitů. Výhodou těchto kotoučů je také menší citlivost vůči rázům a bočním tlakům, než například u keramických pojiv. Další velkou výhodou je, že se dají snadno profilovat. Nevýhodou je krátká výdrž, po kterou zůstane kotouč v požadované tvarové toleranci - kotouč se musí dříve orovnat orovnávacím kotoučem. [4], [5]

2.3.2.2 Kovové pojivo

Je tvrdší než pryskyřičné a používá se převážně s diamantem. Skládá se ze spékaných kovů, nejčastěji ze slitin železa a bronzu s vhodnými přísadami. Brousí se výhradně s chlazením, protože kvůli tomuto pojivu vznikají vyšší teploty. Je používáno tam, kde se vyžaduje zvlášť vysoká odolnost proti opotřebení. Výhodou je také řízení tvrdosti. Pro broušení děr se využívá typ SKM, které je velmi tvrdé. Označení a rozdělení bronzových pojiv má každý výrobce jiné, shodují se však v použití pro určité operace a typy materiálů, které jsou broušeny. Například speciální bronzové pojivo pro broušení SK, další pro broušení skla, keramiky, porcelánu atd. Nevýhodou je nemožnost orovnění na pracovišti, musí se poslat výrobcí. [4], [5]

2.3.2.3 Galvanické pojivo

Jedná se o pojivo, jež je tvořeno z niklu (Ni). Hlavním znakem těchto kotoučů je, že brusná část je tvořena pouze jednou vrstvou, tudíž při otupení se již nedají nabrousit. V případě renovace se kotouč musí poslat specializované firmě, která jej odnikluje a nanese na základní těleso novou vrstvu. Tato metoda je však finančně poměrně náročná. Výhodou je vysoký brusný výkon a nižší pořizovací cena, bohužel však nízká životnost. Tyto kotouče jsou většinou tvarově složité, určené ke speciální operaci pro výrobu složitých nástrojů. [4], [5]

2.3.2.4 Keramické pojivo

Je tvořeno vazbou složenou z minerálních surovin. S tímto pojivem lze vyrobit brusné povlaky s definovanou porézností v rozsahu 2 % - 40 %. Toto umožňuje široké aplikační spektrum. Výhodou nástroje s touto vazbou je dobrá orovnatelnost a profilovatelnost a nízká síla potřebná pro broušení. Nevýhodou je, kromě větší citlivosti na rázy a boční tlak, především rychlá ztráta profilu. Orovňávání se provádí diamantovým kotoučem s kovovou vazbou. [5]

2.3.2.5 Hybridní vazba

V tomto případě se jedná o spojení výhodných vlastností dvou typů vazeb – keramické a kovové. To znamená, že hybridní vazba disponuje vyšší odolností vůči opotřebení, než vazba keramická, a dále disponuje vyšší porézností, a tedy vyšší schopností odebrat třísku, než vazba kovová.

2.3.3 Velikost a koncentrace zrn

Velikost a koncentrace zrna v brusném kotouči mají významný vliv na průběh celého procesu broušení a na výsledek práce.

2.3.3.1 Velikost zrna

Jestliže je snížena velikost zrna v brusném kotouči, vzroste počet aktivních břitů a naopak. Menší zrno rovněž způsobí kvalitnější výsledný povrch obrobku, ovšem za cenu nižšího brusného výkonu a kratší životnosti nástroje. Obecně lze tedy říci, že životnost kotoučů a schopnost brousit se s rostoucí velikostí zrna zvyšují. [5]

Rozdělení zrnitosti je stanoveno normami ISO 6016, FEPA (Federation of European Producer of Abrasives), popřípadě podle amerického značení (mesh). Dříve užívaná norma ČSN 22 4015 udávala zrnitost ve formě zlomku, například 160/125, kde čitatel udává horní a jmenovatel spodní mezní rozměr zrna v μm . V Evropě se upřednostňuje metrické značení spočívající ve velikosti ok síta. Americké značení spočívá v počtu otvorů na čtvereční palec. V následující tabulce (tab. 2.1) je orientačně uvedeno základní srovnání části zrnitostí podle výše zmíněných tří rozdělení. [2], [5]

tab. 2.1 - rozdělení zrnitostí [6]

ČSN 22 4015	ISO 6016 (FEPA)				US Standard
Rozměr zrn [μm]	Diamant	Drsnost povrchu [Ra]	CBN	Drsnost povrchu [Ra]	Zrnitost (mesh)
250/200	D251		B251		60/70
200/160	D213	1,6	B213	1,2	70/80
160/125	D181		B181		80/100
	D151	1,2	B151	0,8	100/120
125/100	D126		B126		120/140
100/80	D107	0,8	B107	0,4	140/170
	D91		B91		170/200
80/63	D76	0,4	B76	0,2	200/230
63/50	D64		B64		230/270
50/40	D54	0,2	B54	0,1	270/325
	D46		B46		325/400

Následující tabulka (tab. 2.2) udává zrnitost diamantových a CBN kotoučů, jejich použití a dosažitelnou drsnost povrchu.

tab. 2.2 – zrnitost, použití a dosažitelná drsnost povrchu [4]

Zrnitost		Použití	Drsnost povrchu [Ra]
Diamant	CBN		
D213 D181 D151	B251 B213 B181	Výkonné broušení a hrubování, kde je žádán především vysoký výkon broušení	1,2
D126 D107 D91	B151 B126 B107	Výkonné broušení a hrubovací operace	0,8
D76 D64	B91 B76	Střední broušení, ostření řezných nástrojů	0,4
D54 D46	B64 B54	Dokončovací broušení	0,2
D39	B46	Lapování, jemné broušení	0,1
D27 D20 D15	-	Leštění	0,08
D10 D7	-	Leštění	0,06
D6	-	Leštění	0,025

2.3.3.2 Koncentrace zrna

Tímto pojmem je označován váhový podíl brusného zrna na prostorový objem brusného povlaku. Pro určení koncentrace neexistují platné mezinárodní normy. Obecně se v Německu prosadila definice, podle které platí pro zrnitost diamantu a CBN následující: „koncentrace 100 = 4,4 Kt/cm³ brusného povlaku. 1 Kt = 0,2 g, což znamená, že koncentrace 100 obsahuje 0,88 gramů brusných zrn v objemu 1 cm³. Tato definice je normována v DIN 69800 část. 2.“ [5] V tabulce (tab. 2.3) lze vidět srovnání nejpoužívanějších koncentrací a obsahu brusných částic v Kt/cm³.

tab. 2.3 – srovnání nejpoužívanějších koncentrací

Koncentrace	25	38	50	75	100	125	150	175	200
Karát/cm ³	1,1	1,65	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	7,7	8,8
g/cm ³	0,22	0,33	0,44	0,66	0,88	1,1	1,32	1,54	1,76

Obecně lze říci, že zvýšení koncentrace zvyšuje vývin tepla, snižuje samoostřicí vlastnosti, snižuje výkon broušení, zlepšuje kvalitu povrchu.

Rozdělení koncentrace:

- **Nízká** – koncentrace 25 až 50. Používá se pro speciální operace.
- **Střední** – koncentrace 75 a 100. Vhodné pro běžné broušení.
- **Vysoká** – koncentrace 125 a 150, popřípadě až 175 a 200. Jsou uzpůsobené pro profilové broušení, broušení otvorů a pro úzké brousící vrstvy.

2.3.4 Základní tělesa, materiál, tvary kotoučů

2.3.4.1 Základní tělesa, materiál

Brusný kotouč není celý vytvořen z pojícího materiálu a brusných částic. Takovýto kotouč by byl velmi nákladný, ale také nepraktický z technologického hlediska přesného broušení. Samotná brusná vrstva má tloušťku několik milimetrů a zbytek (tělo) kotouče je vyroben z jiného materiálu. Tento materiál nám udává statickou a dynamickou pevnost brusného tělesa. Má také podstatný vliv na vibrační chování stroje. Používané materiály pro tělesa kotoučů jsou:

- **Ocel** – tyto kotouče mají velmi velkou pevnost a tepelnou vodivost. Díky ní mohou odebírat z brusné části teplo a zkvalitnit tak průběh broušení. Tato tělesa jsou ale velmi těžká, a tudíž jejich uplatnění nalezneme především u menších kotoučů.
- **Hliník** – jeden z nejpoužívanějších materiálů pro výrobu základního tělesa kotouče. Stejně jako ocel vyniká vysokou tepelnou vodivostí, ovšem hmotnost tělesa z tohoto materiálu je mnohem nižší, tedy se hodí i pro kotouče velkých průměrů. Oproti oceli má nižší pevnost. [7]
- **Plast/pryskyřice** – těleso z plastu či pryskyřice vyniká především nízkou hmotností. Nevýhodou je malé dynamické zatížení kotouče, a tudíž možnost vibrací, zvláště při vyšších otáčkách vřetene.
- **Ocelovo-keramické** – jedná se o spojení tenkých ocelových plátů s mezivrstvami z keramiky. Výhodou tohoto tělesa je pevnost a tepelná vodivost oceli a nízká hmotnost keramiky. Používá se především pro tvarové kotouče.

2.3.5 Čištění, orovnávání, zdrsňení, profilování

Brusný kotouč ztrácí během procesu broušení účinnost a tvar, je proto nutné věnovat mu určitou péči. Touto péčí je myšleno čištění, oživování a orovnávání.

Jakmile brusný kotouč ztratí tvar brusné vrstvy nebo je zaznamenán pokles brousících schopností, je nutné kotouč orovnat. To se na většině moderních brusných center provádí přímo, kdy součástí stroje je orovnávací zařízení s kotoučem (většinou SiC brusivo). Takto vybavený stroj orovnává, oživuje a zároveň čistí brusný kotouč. [2], [5]

Čištění je prováděno tehdy, jsou-li brusná zrna v kotouči zalepena broušeným materiálem a dojde tak ke snížení samoostřících vlastností. Stává se tak především při broušení za sucha, popřípadě při nevhodně zvoleném kotouči pro daný broušený materiál. Čištění je realizováno strojně buď přímo na centru, nebo je kotouč čištěn mimo centrum na jiném stroji.

2.4 Slinuté karbidy

Broušení slinutých karbidů již bylo popsáno výše, proto zde bude věnována pozornost také danému materiálu, jeho chemickému složení, mechanickým a fyzikálním vlastnostem, rozsahu použití apod.

Při snaze vědců vytvořit umělý diamant vznikly na přelomu 19. a 20. století jako vedlejší produkt karbidy, boridy a silicidy. Tyto látky vykazovaly vysokou tvrdost a odolávaly vysokým teplotám, avšak samotné se nedokázaly v praxi prosadit. Vše se změnilo zhruba ve dvacátých letech 20. století, kdy bylo zjištěno, že smíchá-li se karbid wolframu pečlivě s některým z kovů (Co, Ni, Fe), následně slisuje a takto vytvořený tuhý celek se ohřeje nad teplotu 1300°C, vznikne výrobek s velmi vysokou tvrdostí (karbidy wolframu). Zároveň ale disponuje i poměrně vysokou houževnatostí dosaženou rozpuštěným kovem. Později se měřením ukázalo, že nejvhodnější kov, který pojí zrna karbidů, je kobalt. [2], [3]

V dnešní době se používají stále karbidy wolframu (WC) a přibyl k nim často používaný titan karbid (TiC). Další, především přídatné karbidy, jsou karbidy tantalu (TaC), niobu (NbC) a chrómu (Cr₃C₂). [8]

2.4.1 Rozdělení slinutých karbidů

SK jsou normou ISO 513 rozděleny podle svého užití do tří hlavních skupin. Jsou to skupiny P (modro-barevné značení), M (žluto-barevné značení) a K (červeno-barevné

značení). Tyto skupiny se dále dělí do podskupin, které jsou označovány např. P15, M20, K10. Číslo za písmenem skupiny udává obsah pojícího kovu, kdy vyšší číslo znamená vyšší podíl pojícího kovu. Ten zapříčiňuje snížení tvrdosti (křehkosti), ale naopak výrazně přispěje ke zvýšení houževnatosti materiálu. [8], [9]

Skupina P slouží hlavně k obrábění materiálů tvořících plynulou, dlouhou třísku. Jsou to především uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Tato skupina obsahuje větší množství TiC a TaC. Díky těmto karbidům jsou SK z této skupiny méně náchylné proti opotřebování (vymílání) na čele nástroje. [8]

Skupina M je vhodná pro materiály produkující dlouhou a střední třísku, zejména pro oceli lité, austenitické korozivzdorné oceli, tvárné litiny a oceli malých pevností. Časté použití nalezneme při těžkém hrubování s přerušovanými řezy. [9]

Skupina K nalezne uplatnění při obrábění materiálů dávajících krátkou třísku, jako jsou litiny, neželezné slitiny, kalená ocel a nekovové materiály. Tato skupina je tvořena především WC s velmi malým až nulovým procentem přídavných karbidů. Proto není vhodné obrábět pomocí tohoto SK materiály tvořící dlouhou třísku. WC totiž s rostoucí teplotou ztrácí tvrdost mnohem rychleji než např. TiC. Dlouhá tříska by tepelně zatěžovala čelo nástroje a ten by se po chvíli stal nepoužitelným. [8]

2.4.2 Chemické složení

V tabulce (tab. 2.4) je pro srovnání uvedeno chemické složení skupin P, M, K. Dále jsou pro porovnání uvedeny i jejich mechanické vlastnosti.

tab. 2.4 – rozdělení, složení a vlastnosti SK

Označení dle ISO	Složení			Tvrdost	Pevnost v ohybu	Pevnost v tlaku	Modul pružnosti
	WC	TiC+TaC	Co				
	%	%	%				
P02	33	59	8	1650	800	5100	440
P03	32	56	12	1500	1000	5250	430
P04	62	33	5	1700	1000	5250	500
P10	55	36	9	1600	1300	5200	530
P15	71	20	9	1500	1400	5100	530
P20	76	14	10	1500	1500	5000	540
P25	70	20	10	1450	1750	4900	550
P30	82	8	10	1450	1800	4800	560
P40	74	12	14	1350	1900	4600	560
M10	84	10	6	1700	1350	6000	580
M15	81	12	7	1550	1550	5500	570
M20	82	10	8	1550	1650	5000	560
M40	79	6	15	1350	2100	4400	540

Označení dle ISO	Složení			Tvrdost	Pevnost v ohybu	Pevnost v tlaku	Modul pružnosti
	WC	TiC+TaC	Co				
	%	%	%				
K03	92	4	4	1800	1200	6200	630
K05	92	2	6	1750	1350	6000	630
K10	92	2	6	1650	1500	5800	630
K20	92	2	6	1550	1700	5500	620
K30	93	-	7	1400	2000	4600	600
K40	88	-	12	1300	2200	4500	580

2.4.3 Mechanické a fyzikální vlastnosti slinutých karbidů typu WC-Co

Pro výrobu soustružnického nože byl zvolen materiál ze skupiny K (WC-Co). Níže proto budou popsány pouze vlastnosti dané skupiny. Obecně však lze říci, že vlastnosti SK se liší podle složení směsi, struktury, teploty, velikosti zrn ve směsi, způsobu slinování atd.

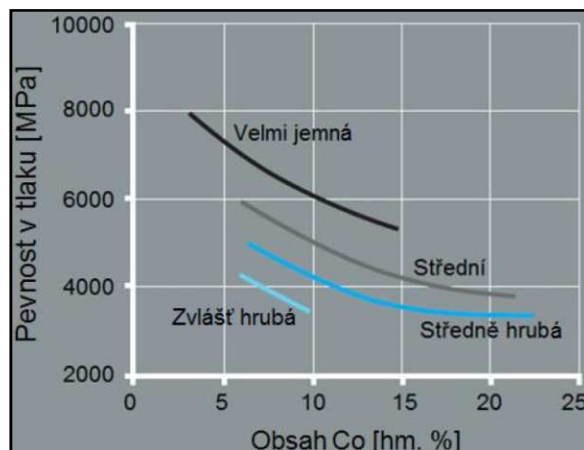
2.4.3.1 Fyzikální vlastnosti

- **Měrná hmotnost** – jelikož tento typ SK obsahuje vysoké procento WC, je zde také vysoká měrná hmotnost $\rho = (12,3 - 15,2) \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Toto rozpětí je způsobeno složením směsi. Měrná hmotnost samotného WC je $15,8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, kobaltu pak $8,9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Logicky lze vypočítat, že čím větší obsah kobaltu, tím nižší měrná hmotnost a opačně. Skutečná hmotnost se částečně liší od teoretické. Je to způsobeno zbytkovou pórovitostí SK, vměstky a přeměnou uhlíku na grafit. [10]
- **Součinitel délkové roztažnosti** – je nejvíce ovlivněn procentuálním zastoupením Co. Čím více je ve směsi tohoto pojícího kovu, tím větší je délková roztažnost. Přesné hodnoty pro každý typ SK udává výrobce – pohybují se však v rozmezí $3,4-7,1 [10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}]$. [10]
- **Tepelná vodivost** – vysoká tepelná vodivost má nepříznivý vliv na tepelné zatížení nástroje, snižuje se tím jeho tvrdost. Tepelná vodivost závisí na velikosti karbidů, kde větší zrno zapříčiňuje větší tepelnou vodivost. U dnes nejvíce používaných slinutých karbidů, kde obsah Co je do 30 % je tepelná vodivost v rozmezí $(50-105) \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Oproti rychlořezným ocelím je hodnota zhruba dvojnásobná. [10]

2.4.3.2 Mechanické vlastnosti

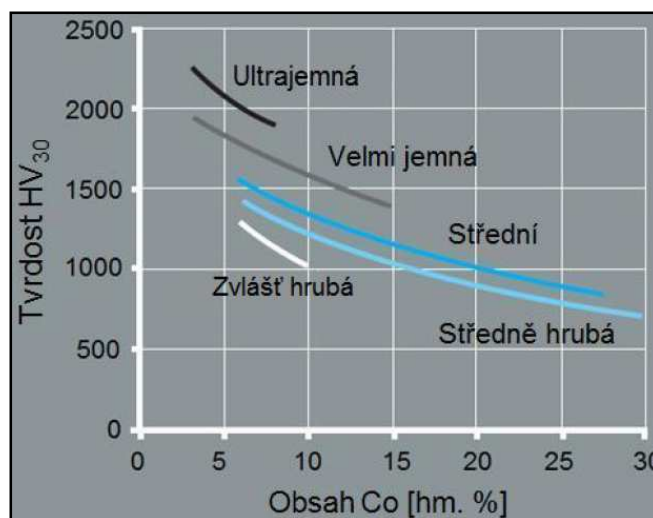
- **Pevnost v tlaku** – je opět určena zrnitostí struktury, obsahem kobaltu a teplotou. Roste s klesajícím obsahem Co, s klesající teplotou a se zmenšujícím se zrnem struktury. Hodnoty se pohybují v poměrně vysokých hodnotách

v rozmezí 4500-6200 MPa. Na obrázku (obr. 2.1) je možné opět vidět závislost pevnosti v tlaku na procentuálním obsahu Co při rozdílné zrnitosti. [8]

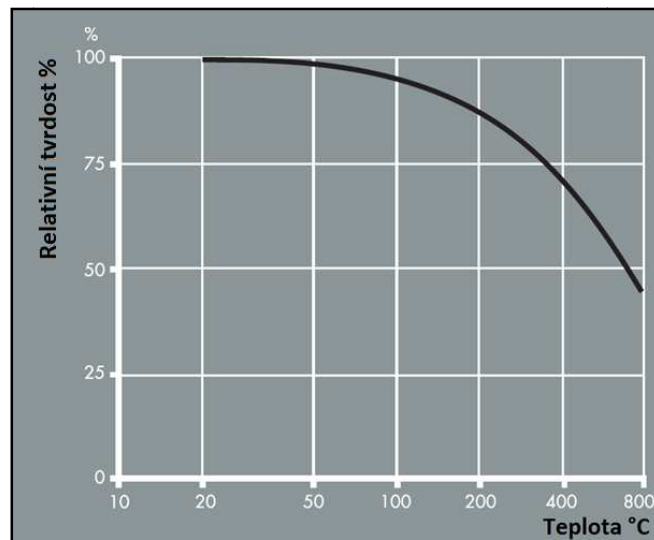


obr. 2.1 – Závislost obsahu Co na pevnosti v tlaku při různé zrnitosti. [11]

- **Tvrdost** – ovlivňuje ji především obsah Co ve směsi. Čím je větší procento kobaltu ve směsi, tím má výsledný typ SK menší tvrdost. Ovlivňujícím faktorem pro výslednou tvrdost SK je také velikost zrna jednotlivých karbidů. Velmi jemná zrnitost je mnohem tvrdší, než struktura s hrubým zrnem. Toto platí jak při pokojové teplotě, tak také při zvýšené teplotě pohybující se kolem 800 °C, kdy tvrdost SK výrazně klesá. Proto lze jemnozrnnou strukturu SK využít pro výrobu destiček a nástrojů pro obrábění, kde je řezná část nástroje ovlivněna teplotou vzniklou při obrábění. Na obrázku (obr. 2.2) lze vidět závislost tvrdosti na obsahu Co při rozdílných zrnitostech ve směsi a na následujícím obrázku (obr. 2.3) pak závislost teploty na výsledné tvrdosti. [8]

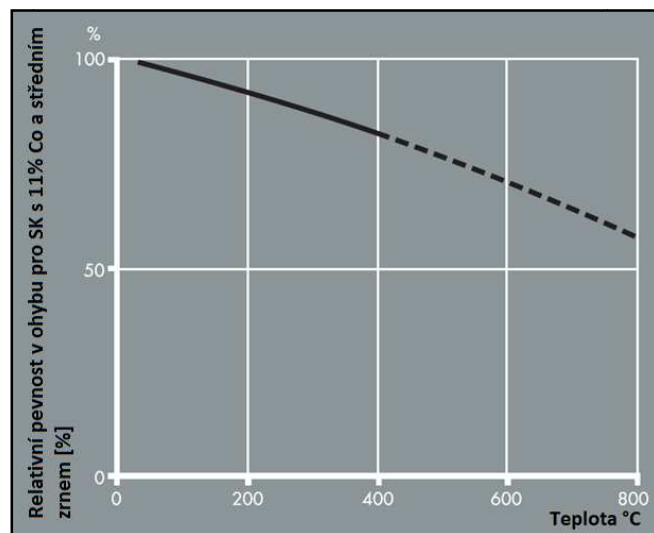


obr. 2.2 – Závislost obsahu Co na tvrdosti HV 30 při různé velikosti zrn. [11]



obr. 2.3 – Relativní závislost teploty na výsledné tvrdosti. [11]

- **Pevnost v ohybu** – závisí na obsahu kobaltu ve směsi. Větší podíl kobaltu způsobuje nárůst pevnosti v ohybu na úkor tvrdosti SK, a tím rychlejší otupení nástroje. Velký vliv má opět velikost zrna karbidů a teplota. Se zmenšujícím se zrnem se zvyšuje pevnost v ohybu a obráceně. Jak je vidno na obrázku (obr. 2.4), s rostoucí teplotou opět pevnost v ohybu klesá. SK ze skupiny K mají pevnost v ohybu v rozmezí přibližně 1200-2200 MPa. [10]



obr. 2.4 – Závislost pevnosti v ohybu na teplotě. [11]

- **Pevnost v tahu** – se určuje obtížně, protože SK jsou materiály s vysokou křehkostí a nízkou pevností v tahu. Obecně lze říci, že hodnota dosahuje cca poloviny hodnoty pevnosti v ohybu. [10]

- **Modul pružnosti v tahu** – ve skupině se pohybuje okolo hodnoty 600 GPa a se zmenšujícím se obsahem Co a zmenšujícím se zrnem karbidů tato hodnota klesá. [10]

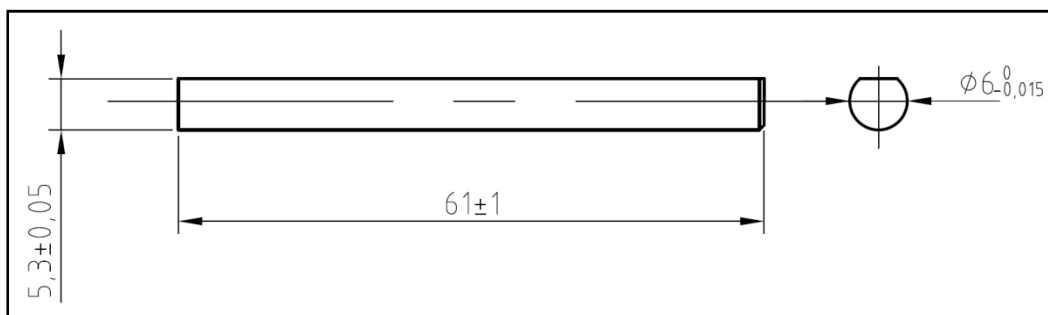
3 Návrh technologie výroby dané součásti

3.1 Polotovar

a) Tvar polotovaru

Vzhledem k tomu, že firma Pramet vlastní na skladě potřebné množství polotovaru pro prvotní testovací výrobu daného monolitního soustružnického nože a následné odladění výrobních technologií, bude tak použit její skladový materiál. V případě další výroby bude nutné polotovar vyrobit.

Polotovarem pro monolitní soustružnický nůž se stala plná tyč kruhového průřezu o průměru 6 mm ze slinutého karbidu HF10. Tato tyč má sraženou jednu čelní hranu o rozměru 0,5 mm x 45° a následně je zbroušena na brusce naplocho na rozměr $5,3 \pm 0,05$ mm, viz obrázek (obr. 3.1).



obr. 3.1 – schéma polotovaru

b) Materiál polotovaru

Pro výrobu monolitního soustružnického nože byl zvolen slinutý karbid společnosti Pramet s označením HF10. Jedná se o SK ze skupiny K, jenž by se dal dle ISO 513 označení zařadit do skupiny K20-K30. Jeho struktura je velmi jemná, se zrnem o velikosti 0,6-1,2 μm . Tento SK odolává vysokému abrazivnímu opotřebení, avšak stále disponuje poměrně velkou pevností v ohybu. Jeho chemické složení, fyzikální a mechanické vlastnosti jsou zobrazeny v následující tabulce (tab. 3.1).

tab. 3.1 – vlastnosti a chemické složení použitého SK

Označení	Tvrдост	Hustota	WC	Co	Ni	Jiné
	HV ₃₀ ± 50	g·cm ⁻³	%			
HF10	1640	14,48	89,6	10	-	0,4

3.2 Brousící centrum

Výroba přesného monolitního soustružnického nože ze SK se neobejde bez speciálního zařízení. Toto zařízení musí splnit všechny požadavky kladené na něj při výrobě, především dodržení rozměrových a tvarových tolerancí výrobku.

Pro daný výrobek bylo zvoleno brusné centrum od firmy ISOG, konkrétně pak typ Flexus Invader (obr. 3.2). Veškeré operace broušení nožíku (odlehčení, fazety, zaoblení) budou prováděny na tomto stroji. Jedná se o 5osou CNC brusku, speciálně určenou pro obrábění vyměnitelných břitových destiček od ISO kódu přes firemní standardy až ke speciálním geometriím. Koncepte stroje tkví ve spolupráci brusného modulu s jedním automatizovaným. Tento automatizovaný modul obstarává 6osý robot od firmy Stäubli. Tento robot zajišťuje umísťování polotovarů ze zásobníku přímo do držáku obrobků a hotových obrobků zpět do zásobníku. Brusná jednotka má pak k dispozici 8 pozic pro umístění brusných kotoučů, které se mění automaticky, dle zvolené operace. Dále stroj disponuje měřicí sondou pro zjištění polohy obrobku. V neposlední řadě je to také jednotka s SiC kotoučem, určeným pro orovnění brusných kotoučů. Jedná se konkrétně o kotouč od výrobce 3M s označením 11C120. Průměr kotouče je 125 mm a tloušťka 16mm. [12]



obr. 3.2 – ISOG Flexus Invader [12]

Následující tabulka (tab. 3.2) zobrazuje parametry stroje Flexus Invader.

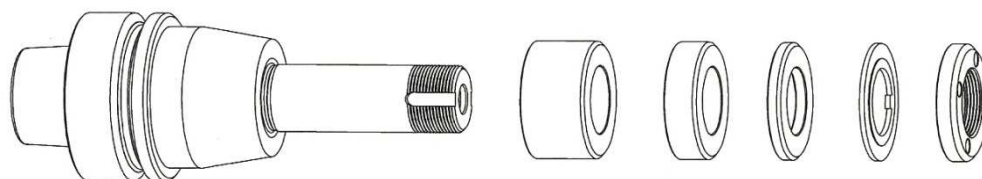
tab. 3.2 – tabulka parametrů stroje Flexus Invader

ZÁSOBNÍK BRUSNÝCH KOTOUČŮ		FLEXUS INVADER
Kapacita		8
Maximální hmotnost brusného kotouče s upínacím systémem		2,1 kg
Maximální průměr brusného kotouče		150 mm
Čas pro výměnu kotouče		cca 12 s
PODÁVACÍ SYSTÉM		
Jednotka		6osý robot
ROZMĚRY OBROBKU PRO AUTOMATICKÉ PODÁVÁNÍ		
Maximální rozměry obrobku (hloubka x šířka x výška)		cca 60 x 60 x 120 mm
Maximální hmotnost obrobku		1 kg
ROZSAH POJEZDU		
osa-X	Délka pojezdu při broušení / maximální otáčky	400 mm / 12 rpm
	Přesnost	0,0001 mm
osa-Y	Délka pojezdu při broušení / maximální otáčky	310 mm / 12 rpm
	Přesnost	0,0001 mm
osa-Z	Délka pojezdu při broušení / maximální otáčky	305 mm / 12rpm
	Přesnost	0,0001 mm
osa-A	Volná rotace	360°
	Maximální rychlost rotace	500 min ⁻¹
	Přesnost	<0,00006°
osa-C	Rozsah naklonění vřetene / V _{max}	224° / 120U/min
	Přesnost	<0,00006°
BRUSNÉ VŘETENO		
Hnací motor		přímý pohon
Výkon		10 kW
Výkon ve špičce/příkon		18 kW
Otáčky vřetene		volitelné od 1000 do 8000 rpm
ROZMĚRY A VÁHA		
Váha		5 t
Rozměry (hloubka x šířka x výška)		3150 x 2200 x 2200 mm

3.2.1 Systém upínání brusných kotoučů

Vřeteno stroje je vybaveno systémem upínání HSK. Označení vzniklo spojením prvních písmen z německého „Hohl Scharf Kegel“, neboli volně přeloženo jako „dutý upínač“. Tento upínací mechanismus byl vyvinut v Německu a pracuje uvnitř duté stopky. Ve vřetenové části se nacházejí dvě kleštiny, které se při vsunutí upínače zasunou do dířku. Následným radiálním pohybem klestiny se tyto roztáhnou a způsobí mírnou elastickou deformaci po obvodu upínače. Tímto způsobem je upínač velkou silou vtažen do vřetena stroje. Výhodou tohoto spojení oproti konvenčním je především stejná axiální poloha nástroje při obrábění a výrazná odolnost vůči silám vytahujícím upínač z vřetena. Tento systém upnutí je používán především v Evropě, ale pomalu se začíná prosazovat i v USA,

a to díky vyváženým strojům, které toto upnutí ve většině případů obsahují. Na následujícím obrázku (obr. 3.3) je zobrazeno schéma HSK50, sloužící pro upevnění brusných kotoučů do vřetena centra. [22]



obr. 3.3 – Schéma HSK50 sloužící k upnutí brusného kotouče do vřetena.

Na následujícím obrázku (obr. 3.4) je vyobrazen upínač s namontovaným kotoučem přímo ve výrobě.



obr. 3.4 – Upnutí kotouče pomocí HSK.

3.2.2 Systém upnutí obrobku

Pro upnutí upínače obrobku je CNC bruska vybavena systémem Capto od firmy Sandvik Coromant. Výhodami tohoto upnutí jsou především:

- vysoká základní stabilita a přesnost
- zkrácení času na seřízení
- schopnost přenosu velkých kroutících momentů
- vysoká ohybová tuhost
- možnost rychlé i automatické výměny nástrojů
- vyváženost, souosost, samostředící konstrukce... [23]

Samotný polotovár však bude upnut do druhej poloviny upínače. Bylo zvoleno upnutí pomocí upínače Weldon a kleštiny se stavěcím šroubem, jehož vnitřní tvar je kruhového průřezu. Z boku adaptéru je díra se závitem a stavěcím šroubem. Dotáhnutím tohoto šroubu s vloženým polotovarom bude dosaženo pevného upnutí bez možného pootočení obrobku kolem vlastní osy. Ve fázi vývoje se objavil i návrh pro upnutí válcového polotovaru do sklíčidla, ale kvůli jistějšímu upnutí bylo nakonec zvoleno upnutí pomocí stavěcího šroubu.

3.2.3 Procesní kapalina

Jako procesní kapalina je použit plně syntetický SHPG olej s názvem Sintogrin TTK. Tento olej je doporučován výrobcem brousícího centra. Používá se především pro moderní technologie broušení (rychlostní, hlubkové a ostření s diamantovými a CBN brusnými kotouči). Také je vysoce trvanlivý a odolný proti stárnutí, téměř nezávadný pro životní prostředí, z 80 % biologicky odbouratelný, nedráždí pokožku. Jeho hlavní výhodou je, že neobsahuje téměř žádný kobalt a nedochází tak k výplachu pojiva při broušení SK. Následující tabulka (tab. 3.3) ukazuje vlastnosti procesní kapaliny. [13]

tab. 3.3 – vlastnosti procesní kapaliny [13]

Hustota při 15°C	Kin. viskozita při 20°C	Kin. viskozita při 20°C	Bod vzplanutí
$\text{g}\cdot\text{cm}^3$	$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	°C
0,81	10,1	5,5	160

3.2.4 Programové prostředí

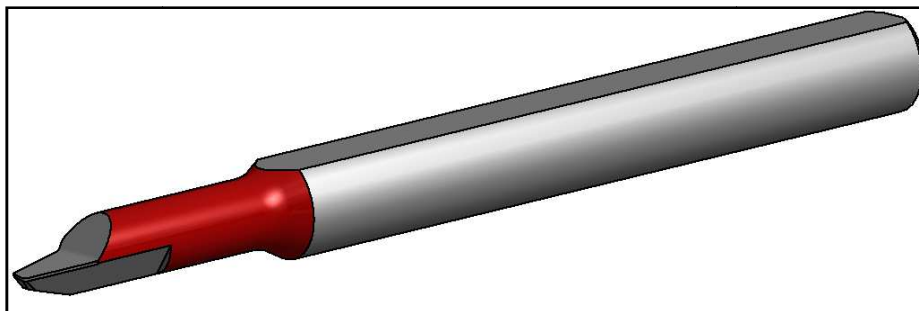
O brusné softwarové prostředí se stará program NUMROTOplus. Jedná se o programovací jazyk vhodný pro CNC brusky. Jeho výhoda spočívá nejen v programování výroby nových nástrojů, ale také k přestřelení těch starých. Díky tomu je tento program nejlepším řešením pro zákazníky, kteří hledají nejen výrobu nových nástrojů, ale i renovaci těch starých. Jelikož firma reaguje na požadavky strojírenských firem už od svého vzniku v osmdesátých letech, stala se jedničkou na trhu. Programování se děje mimo stroj na samostatném počítači. Navrženou součást je možné nechat vykreslit do přesné 2D i 3D simulace. [14], [15]

3.3 Sled operací, použité nástroje, řezné podmínky

Níže jsou popsány operce, které byly prováděny na brousícím centru Flexus Invader. Veškeré použité kotouče pro broušení nože měly zrno z PKD.

3.3.1 Broušení, odlehčení a R3

Na obrázku (obr. 3.5) je znázorněna plocha broušená v tomto kroku.

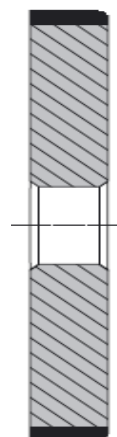


obr. 3.5 – Vyobrazená broušená plocha.

Původně byla tato operace rozdělena na dvě části – broušení hrubovací a broušení dokončovací. Byly použity klasické ploché kotouče pro obvodové broušení a hlavní posuvový pohyb kotouče byl v axiálním směru s osou obrobku. Z důvodu časové optimalizace byl pro tuto operaci vybrán plochý kotouč značky Urdiamant s pryskyřičným pojivem, u něhož byl vytvarován na jedné hraně rádius R3. V současné době je odlehčení broušeno rovněž obvodem, ale radiálním broušením. Parametry kotouče a řezné podmínky jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 3.4):

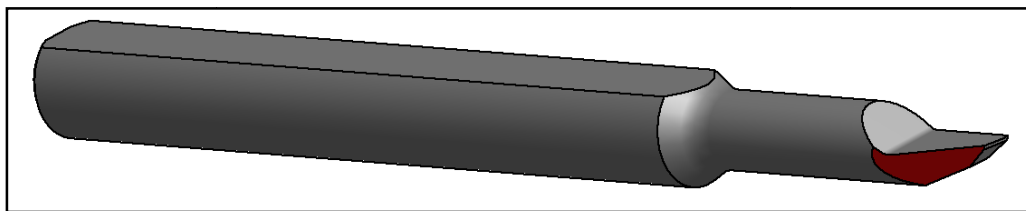
tab. 3.4 – kotouč a brusné podmínky pro operaci 1

Výrobce	Urdiamant
Typ (tvar)	Plochý 1A1 s rádiem
Pojivo (vazba)	Pryskyřice
Průměr	125 mm
Tloušťka	25 mm
Zrnitost	D126
Koncentrace	K100
Řezné podmínky	
Řezná rychlost	$22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Přísuv	$40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Rotace obrobku	12 ot/min^{-1}



3.3.2 Broušení fazety 65°

Na obrázku (obr. 3.6) je zobrazena plocha broušená v tomto kroku.

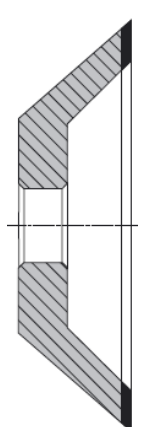


obr. 3.6 – Vyobrazená broušená plocha.

Tato operace je prováděna kotoučem miskového typu, jehož parametry a rovněž parametry broušení jsou uvedeny v následující tabulce. (tab. 3.5)

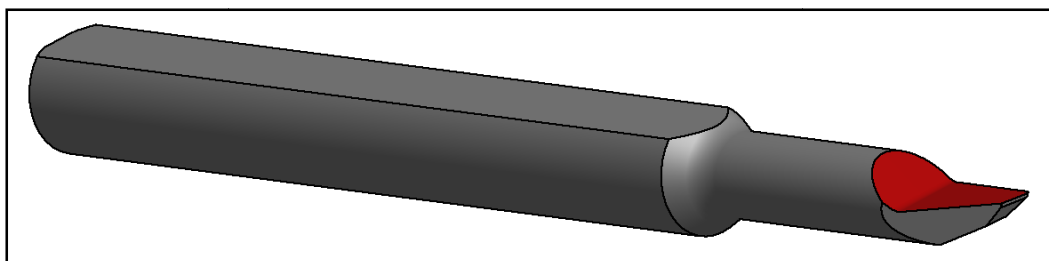
tab. 3.5 - kotouč a brusné podmínky pro operaci 2

Výrobce	Wendt
Typ (tvar)	Miskový
Pojivo (vazba)	Pryskyřice
Průměr	150 mm
Úhel sklonu stěn	20°
Zrnitost	D76
Koncentrace	K100
Rezné podmínky	
Rezná rychlost	25 m · s ⁻¹
Přísuv	20 m · min ⁻¹


 A cross-sectional diagram of a bowl-shaped grinding wheel, showing its concave profile and internal structure.

3.3.3 Broušení plochy čela a zkosení 45°

Na obrázku (obr. 3.7) je vidět plocha broušená v tomto kroku.




obr. 3.7 – Vyobrazená broušená plocha.

Pro tuto část byl zvolen kotouč s jemným zrnem, a to kvůli potřebě vytvořit povrch s nízkou drsností. Po této části nástroje bude odcházet tříska, a díky nižší drsnosti povrchu čela se bude povrch nástroje méně zahřívat a zvýší se tak jeho životnost. Parametry kotouče a parametry broušení jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 3.6)

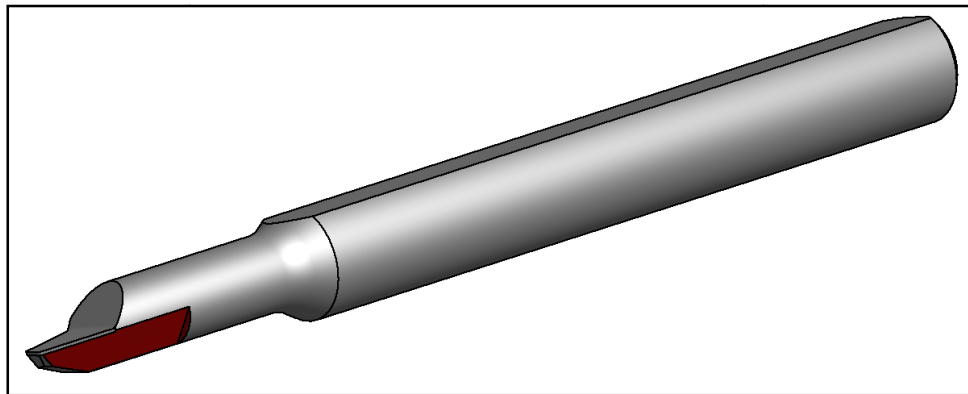
tab. 3.6 - kotouč a brusné podmínky pro operace 3 a 4

Výrobce	3M
Typ (tvar)	Plochý
Pojivo (vazba)	Hybridní
Průměr	100 mm
Tloušťka	10 mm
Zrnitost	D46
Koncentrace	K100
Řezné podmínky	
Řezná rychlost	25 m · s ⁻¹
Přísuv	80 m · min ⁻¹



3.3.4 Broušení 40° zleva (hlavní hřbet)

Na obrázku (obr. 3.8) je zobrazena plocha broušená v tomto kroku.

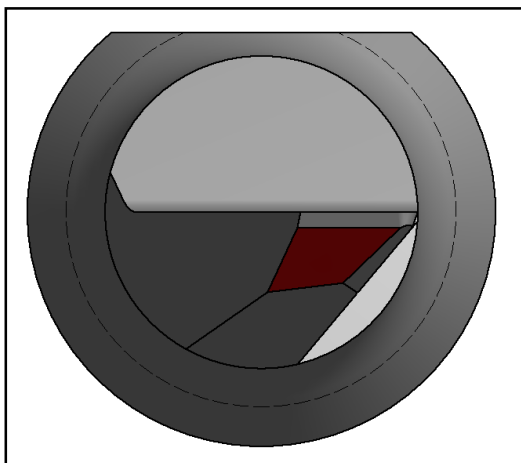


obr. 3.8 – Vyobrazená broušená plocha.

Broušení plošky je prováděno za pomoci stejného kotouče, jako v předchozí operaci. Řezné podmínky jsou tedy stejné.

3.3.5 Broušení 40° zepředu

Na obrázku (obr. 3.9) je zobrazena plocha broušená v tomto kroku.

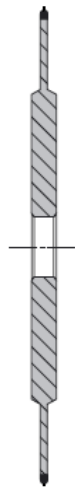


obr. 3.9 – Vyobrazená broušená plocha.

Tato operace je prováděna pomocí hrubovacího kotouče pro broušení profilů. Jeho výhodou je rychlost odebrání materiálu a vysoká produktivita výroby. Parametry kotouče a broušení jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 3.7)

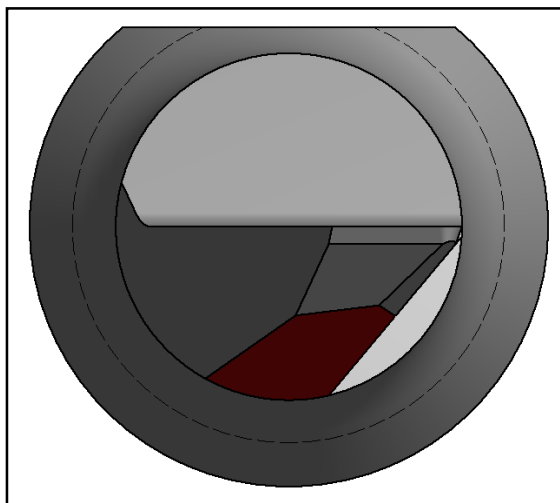
tab. 3.7 - kotouč a brusné podmínky pro operace 5 a 6

Výrobce	Cafro
Typ (tvar)	14EE1
Pojivo (vazba)	Hybridní
Průměr	150 mm
Tloušťka	4 mm
Úhel špičky	30°
Zrnitost	D76
Koncentrace	K125
Řezné podmínky	
Řezná rychlost	25 m · s ⁻¹
Přísuv	45 m · min ⁻¹



3.3.6 Broušení 72° zepředu

Na obrázku (obr. 3.10) je zobrazena plocha broušená v tomto kroku.

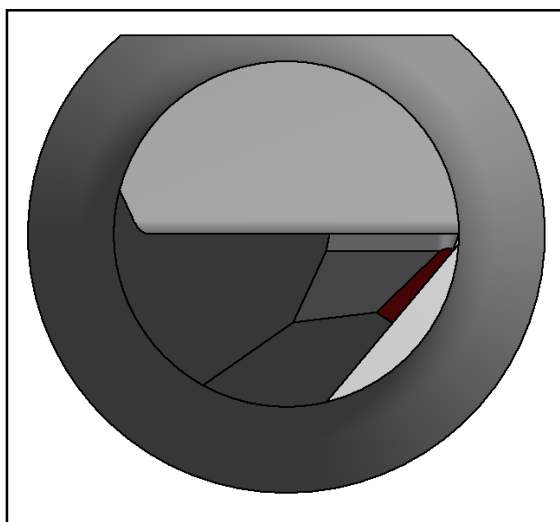


obr. 3.10 – Vyobrazená broušená plocha.

Pro tuto operaci je použit stejný kotouč se shodnými parametry jako v operaci předchozí.

3.3.7 Broušení 43°

Na obrázku (obr. 3.11) je zobrazena plocha broušená v tomto kroku.

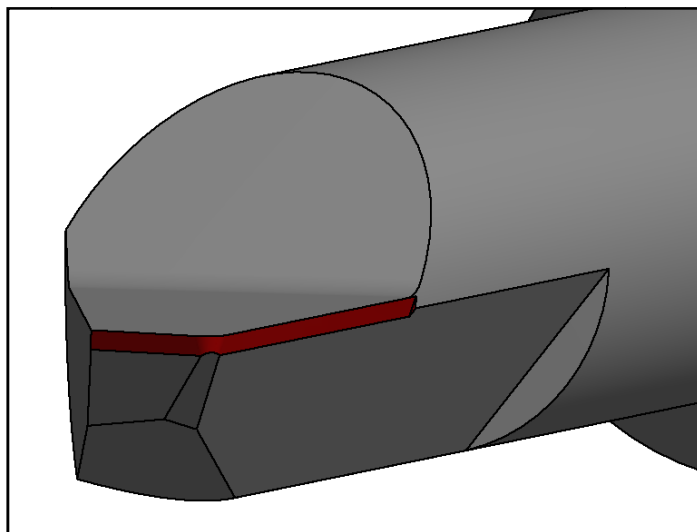


obr. 3.11 – Vyobrazená broušená plocha.

Pro tuto operaci je použit stejný kotouč se shodnými parametry jako v operaci předchozí.

3.3.8 Broušení obvodu a fazetky

Na obrázku (obr. 3.12) je zobrazena plocha broušená v tomto kroku.

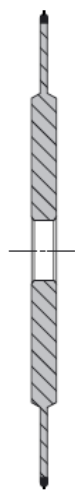


obr. 3.12 – Vyobrazená broušená plocha.

Zbroušena bude fazetka u hlavního a vedlejšího ostří pomocí dokončovacího kotouče na tvorbu složitých tvarů. Opět byla vybrána malá velikost brusného zrna a vysoká koncentrace. Díky těmto vlastnostem vznikne kvalitnější povrch obrobenej plošky. V následující tabulce (tab. 3.8) jsou uvedeny parametry kotouče a broušení.

tab. 3.8 - kotouč a brusné podmínky pro operaci 7

Výrobce	Wendt
Typ (tvar)	14EE1
Pojivo (vazba)	Kovová
Průměr	150 mm
Tloušťka	3 mm
Úhel špičky	30°
Zrnitost	D54
Koncentrace	K150
Řezné podmínky	
Řezná rychlost	$25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Přísuv	$45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$


 A technical drawing of a grinding wheel, showing its cylindrical shape and a central mounting hole. The drawing is oriented vertically.

3.3.9 Zaoblení řezné hrany

Zaoblení řezné hrany je velmi důležitou částí výroby nástroje, zvláště pak u křehkých materiálů obrobku. Díky zaoblení řezné hrany získá nástroj delší životnost, protože se zmenší riziko vyštípnutí karbidů na hraně ostří.



obr. 3.13 – Štetinový kotouč pro zaoblení řezné hrany.

Zaoblení bude provedeno na stejném stroji jako předchozí operace. Pro tento zákrok bude použit speciální kotouč (obr. 3.13), respektive kartáč s nylonovými štětinami a abrazivním zrnem SiC. Koncentrace brusného zrna je K500. Pomocí tohoto nástroje bude řezná hrana zaoblena na $10 \pm 5 \mu\text{m}$.

Parametry kotouče a broušení jsou zobrazeny v následující tabulce (tab. 3.9).

tab. 3.9 – parametry kotouče a broušení pro operaci zaoblení řezné hrany

Výrobce	3M
Typ (tvar)	plochý
Průměr	125 mm
Tloušťka	30 mm
Brusné zrnno	SiC
Koncentrace	K500
Řezné podmínky	
Řezná rychlost	$20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Přísuv	$45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

4 Metodika měření součástí

Aby výsledný obrobek splňoval dané rozměry a tolerance, jež jsou zaznamenány na výrobním výkrese, je nutno výrobek přeměřit. Není potřeba přeměřovat každý výrobek, to by velmi zdražilo výrobu. Stačí, proměří-li se každý pátý kus, a až v případě nedodržení výrobních tolerancí je nutné proměřit výrobky předcházející, aby se určila doba vzniku chyby.

Vyrobený kus nemusí mít chybu pouze rozměrovou. Může obsahovat i chybu tvarovou. Takováto chyba může vypadat například jako nekvalitně navázaná fazetka ostří při výrobě nebo vylomené části slinutého karbidu ať už na ostří, nebo jiné části nože. Toto může vzniknout například neopatrnou manipulací s výrobkem, chybou vnitřní struktury materiálu nebo při broušení s kotoučem příliš hrubého zrna. Další chyba, která může nastat, je nevyhovující drsnost obrobenej plochy vyráběného nože.

Pro kontrolu a měření zhotoveného výrobku jsou použity následující přístroje:

4.1 Lupa

Pro zběžnou kontrolu tvaru se používá hodinářská/klenotnická lupa se zvětšením 10x a průměrem čočky 25 mm. Jedná se o první operaci, kdy se dá zjistit, že je výrobek například otlučený, má na ostří vylomené karbidy apod. Ostatními metodami prověříme rozměrové přesnosti.

4.2 Třmenový mikrometr

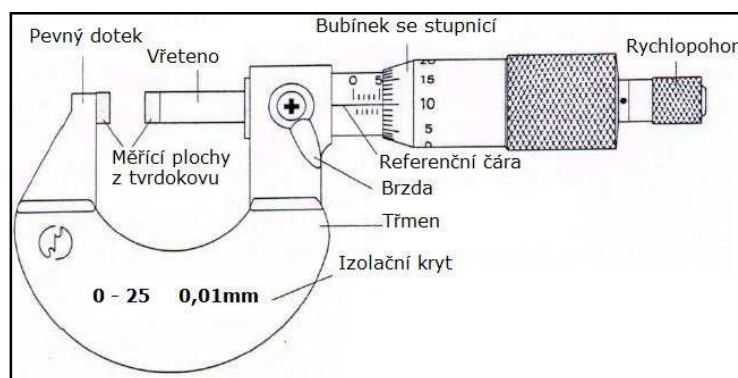
Pomocí třmenového mikrometru je kontrolován pouze průměr na odlehčení $4 \pm 0,025$ mm. Obsluha stroje tento rozměr překontroluje pokaždé, když mění v držáku hotový kus za polotovár. Jelikož je používán třmenový mikrometr s digitálním displejem, je kontrola rozměru rychlá a nezdržuje tak výrobu.

Třmenový mikrometr funguje na principu mikrometrického šroubu. Jedná se o velice přesně vyrobený šroub, jehož stoupání závitu je ve většině případů 0,5 mm. To znamená, že při otočení šroubu o 360° se šroub posune o 0,5 mm daným směrem. Na tomto principu je založeno měření tímto přístrojem. Při otáčení šroubu se objevuje stupnice, která má délku 25 mm a je rozdělena po 0,5 mm. Bubínek, kterým otáčíme, má po obvodu 50 dílků.

Jelikož přesnost takového šroubu je velmi vysoká a výroba velmi nákladná, vyrábějí se ve většině případů mikrometry s délkou mikrometrického šroubu 25 mm. Podle toho

jsou také rozděleny použitelné délky třmenových mikrometrů (např. 0-25 mm, 25-50 mm, 50-70 mm atd.). [16]

Na obrázku (obr. 4.1) lze vidět klasický třmenový mikrometr. Pro měření průměru odlehčení nožíku je využit digitální mikrometr s přesností 0,001 mm. Funkce tohoto přístroje pracuje na stejném principu jako klasický třmenový mikrometr, jen zde není stupnice, ale vedle madla je digitální displej s tlačítky.



obr. 4.1 – Schéma a popis třmenového mikrometru. [17]

Jak už bylo popsáno výše, je tímto způsobem měřen pouze rozměr u odlehčení, což je $4 \pm 0,025$ mm. V následující tabulce (tab. 4.1) jsou uvedeny výsledky měření.

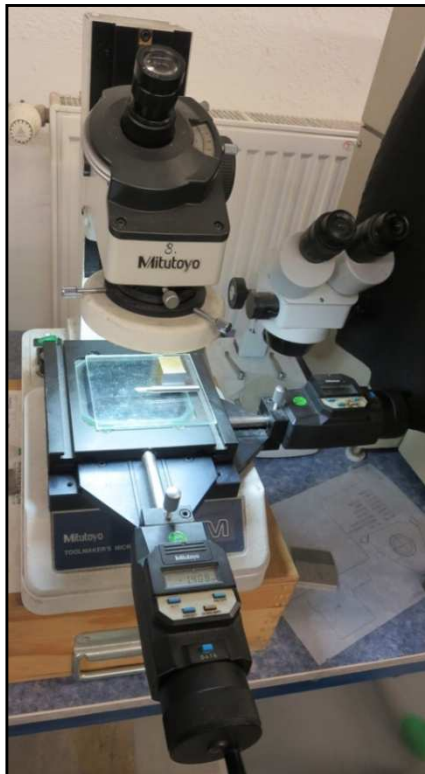
tab. 4.1 – naměřené hodnoty

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]	Hodnota je ve výr. toleranci [Ano/Ne]
1.	3,986	Ano
2.	3,979	Ano
3.	4,013	Ano
4.	4,008	Ano
5.	3,991	Ano

Veškeré naměřené hodnoty se vešly do výrobní tolerance a průměrná odchylka od jmenovitého rozměru je $\pm 0,013$ mm.

4.3 Měřicí mikroskop

Pro měření veškerých délkových rozměrů byl použit měřicí mikroskop Mitutoyo TM-505 (obr. 4.2) s třicetinásobným optickým zvětšením, z toho 15x na okuláru a 2x na objektivu. Přesnost měření je 0,001 mm.



obr. 4.2 – Měřicí mikroskop Mitutoyo TM-505

Princip tohoto měřicího mikroskopu je následující. Na skleněnou pracovní plochu mikroskopu se položí výrobek takovým směrem, aby se dala změřit potřebná hrana. Pomocí ostřících mechanismů je zaostřen obraz a obrobek se ručně nastaví do přibližné polohy k měření. Jak je vidět na obrázku (obr. 4.2), mikroskop disponuje pohyblivým souřadnicovým stolem ve dvou na sobě kolmých osách ve vodorovné rovině (rozsah 50 x 50 mm). O posuv každé této osy se stará mikrometrická hlavička. [18]

Pod skleněnou pracovní deskou se nachází vyměnitelná měřicí destička. Díky této destičce je možné vidět při pohledu do mikroskopu různé osy, tloušťky, úhly, délky, poloměry atd. Pomocí mikrometrického šroubu je nastaven výchozí bod pro měření dané vzdálenosti. Následuje vynulování displejů mikrometrů. Posouváním pracovního stolu s obrobkem podél dané osy lze jednak vidět případné nerovnosti a chyby povrchu, ale hlavně změřit danou délku, která se odečte z displejů mikrometrů. Podle těchto hodnot je vyhodnoceno, jestli je výrobek v daných tolerancích či nikoliv. Pokud není, a je to možné, tak se požadované rozměry znovu přebrousí. Pokud ne, je výrobek označen jako zmetek.

V tabulce (tab. 4.2) jsou uvedeny hodnoty délky hlavního ostří s výrobním rozměrem $5,05 \pm 0,05$ mm. V tabulce následující (tab. 4.3) jsou zapsány hodnoty náměrů pro tloušťku fazety vedlejšího ostří, která má mít dle výkresové dokumentace rozměr $0,2 \pm 0,05$ mm.

tab. 4.2 – naměřené hodnoty pro délku hlavního ostří

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]	Hodnota je ve výr. toleranci [Ano/Ne]
1.	5,071	Ano
2.	5,035	Ano
3.	5,026	Ano
4.	5,082	Ano
5.	5,044	Ano

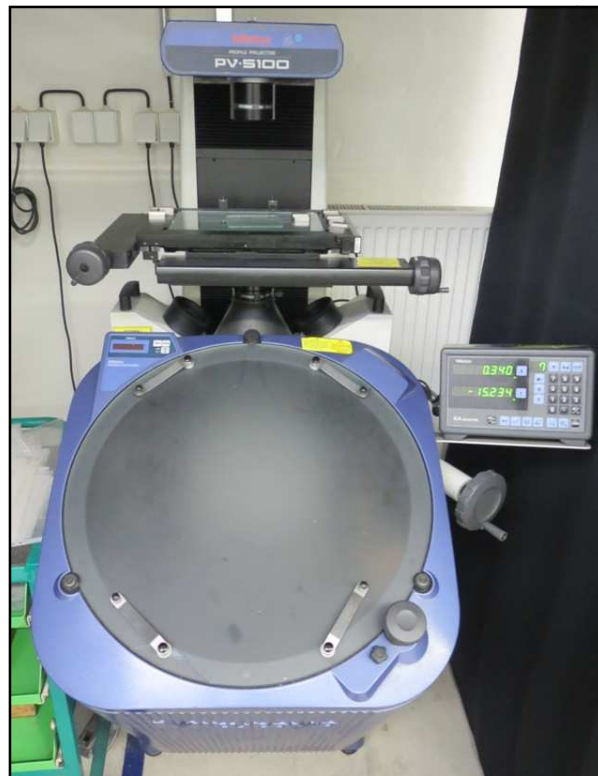
tab. 4.3 – naměřené hodnoty pro tloušťku fazety vedlejšího ostří

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]	Hodnota je ve výr. toleranci [Ano/Ne]
1.	0,215	Ano
2.	0,185	Ano
3.	0,178	Ano
4.	0,221	Ano
5.	0,231	Ano

4.4 Profilprojektor

Okamžitě po změření délkových rozměrů jsou změřeny úhly a zaoblení na profilprojektoru. Jedná se o přístroj Mitutoyo PV – 5100 (obr. 4.3). Funkce tohoto přístroje tkví pouze v porovnávání tvaru součásti s jejím nakresleným tvarem tak, jak by měla vypadat.

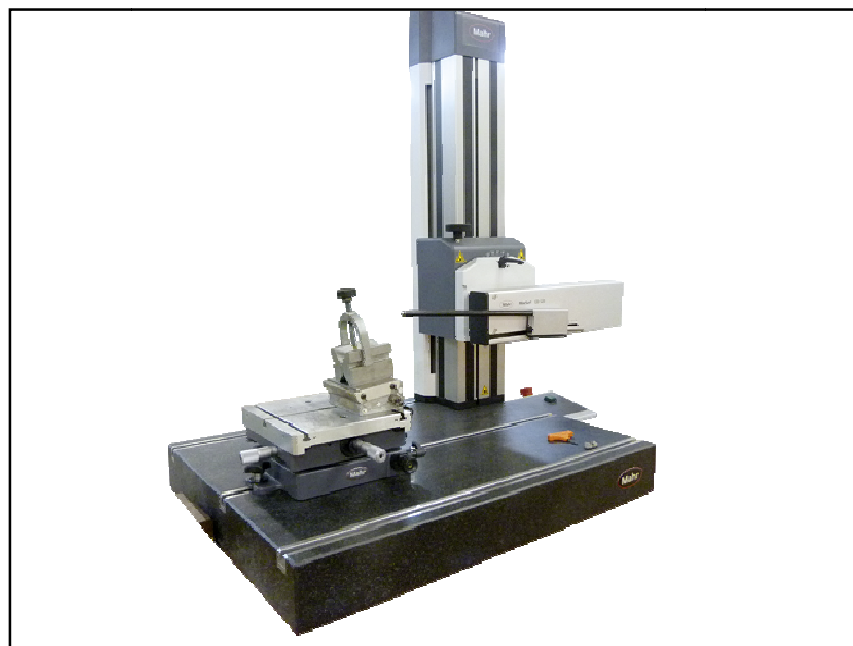
Princip měření je následující. Obrobek je položen na skleněnou destičku. Pomocí světla a optické soustavy je na matnici (na obrázku výše vypadá jako velký kulatý displej) promítnut stín obrobku s požadovaným zvětšením. Díky tomuto stínu lze pozorovat úhly, zkosení, zaoblení atd. Jelikož se jedná pouze o stín bez jakéhokoliv měřítka, je nutné vlastnit i určitý přesně definovaný tvar, podle kterého bude možno určit, zda se jedná o tvar správný nebo nikoliv. Tyto definované tvary jsou vytisknuty na průhledné fólii ve stejném měřítku, jako je zvětšen stín obrobku. Fólie se pak přiloží na stín obrobku, a pokud je tvar čáry totožný s okrajovou linkou stínu, je výrobek poslán k finální operaci měření.



obr. 4.3 – Profilprojektor Mitutoyo PV – 5100.

4.5 Konturograf (profiloměr, perthometr)

Pro finální operace měření je použit profiloměr MahrSurf XC 2 (obr. 4.4) od výrobce Mahr.



obr. 4.4 - MahrSurf XC 2. [20]

Princip profiloměru je následující. Obrobek je upnut do svěrky tou stranou, která je v plánu změřit. Na počáteční bod daného profilu se nastaví detekční jehla, jež se po zapnutí přístroje pohybuje daným směrem a kopíruje tvar povrchu součásti. Tento tvar se následně přenese prostřednictvím počítače na pracovní monitor. Na monitoru lze následně vidět regresní křivku, která vznikla kopírováním povrchu. Software umožňuje měření úhlů, vzdáleností, výpočet obsahu ploch, určování rádií, úchylek, sledování tolerancí a jiné.

Tato metoda měření je podstatně pomalejší než na měřícím mikroskopu a profilprojektoru, proto je zde z důvodu úspory času prováděno pouze měření zbývajících úhlů a poloměru zaoblení řezné hrany. Na tomto přístroji by bylo možno změřit veškeré rozměry výrobku, ale výsledná cena produktu by vzrostla.

V následující tabulce (tab. 4.4) jsou uvedeny náměry úhlů hlavního hřbetu (výrobní rozměr je 40°) a úhlem zkosení mezi touto plochou a hranou hlavního ostří (20°). V příloze (Příloha č. 2.) je uveden náměr pro první hodnotu.

tab. 4.4 – náměry úhlů

Číslo měření	Úhel hřbetu [°]	Úhel zkosení [°]
1.	$40^\circ 09' 01''$	$20^\circ 03' 35''$
2.	$40^\circ 05' 08''$	$20^\circ 05' 12''$
3.	$40^\circ 08' 16''$	$20^\circ 01' 27''$
4.	$40^\circ 10' 54''$	$20^\circ 08' 05''$
5.	$40^\circ 01' 20''$	$20^\circ 07' 43''$

Na obrázku (obr. 4.5) je zobrazeno měření těchto úhlů.



obr. 4.5 – Měření úhlů na přístroji MahrSurf XC 2.

V tabulce (tab. 4.5) jsou uvedeny náměry pro úhel vedlejšího hřbetu (výrobní rozměr je 40°) a úhlem zkosení mezi touto plochou a vedlejším ostřím (20°). Náměr pro první hodnotu je uveden v příloze (Příloha č. 2).

tab. 4.5 – náměry úhlů

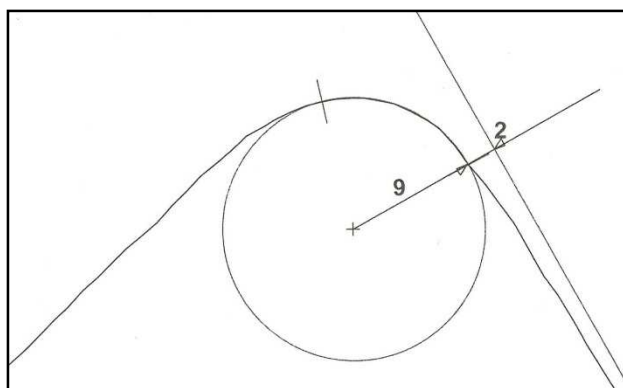
Číslo měření	Úhel hřbetu [°]	Úhel zkosení [°]
1.	$39^\circ 51' 05''$	$19^\circ 40' 09''$
2.	$39^\circ 56' 13''$	$19^\circ 49' 24''$
3.	$39^\circ 53' 44''$	$19^\circ 45' 37''$
4.	$39^\circ 58' 03''$	$19^\circ 47' 52''$
5.	$39^\circ 52' 21''$	$19^\circ 42' 16''$

V tabulce (tab. 4.6) jsou uvedeny náměry zaoblení řezné hrany.

tab. 4.6 – Náměry poloměru zaoblení

Číslo měření	Náměr poloměru zaoblení [μm]
1.	8
2.	12
3.	7
4.	9
5.	13

Na následujícím obrázku (obr. 4.6) je uveden výsledek měření pro měření zaoblení řezné hrany.



obr. 4.6 – Náměr zaoblení řezné hrany.

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Díky technické vyspělosti dnešních CNC strojů a měřicích přístrojů, bylo dosaženo takto vysoké přesnosti vyrobeného nože. Bohužel se jedná o úplně nový výrobek, proto není možné porovnat ho s nějakým konkurenčním, který už je patentován. Například po vyrobení prvních několika kusů, které byly následně zkoušeny u zákazníka ve výrobě, bylo zjištěno, že dosažená drsnost obrobeného povrchu neodpovídá drsnosti požadované. Musel být proto pozměněn úhel fazety s následným přepsáním programu pro CNC stroj.

Jelikož nejvíce financí stojí čas, při kterém je nožík obráběn na CNC stroji, byla věnována pozornost časové optimalizaci výroby. Dalším důležitým faktorem určujícím cenu je lidská práce. Snahou je docílit co nejnižší výsledné ceny produktu oproti konkurenci. Dnes se zatím počítá s ruční výměnou polotovaru za hotový kus. Pokud si zákazník vybere daný produkt, a tím zajistí sériovou výrobu tohoto nožíku, je plánována automatická výměna hotového obrobku za polotovar (vše bude záležet na počtu vyráběných kusů). Zapříčiní to sice další počáteční investice do robota, který bude muset mít šroubovací jednotku, povolující a utahující stavěcí šroub, ale sníží se výrobní čas. Pokud by došlo k automatizaci výroby, zkrátí se čas potřebný pro výměnu obrobku o dalších zhruba 20 sekund. Pracovník obsluhující tento stroj by mohl pracovat na jiném zařízení, a tím by se opět ušetřila značná část financí.

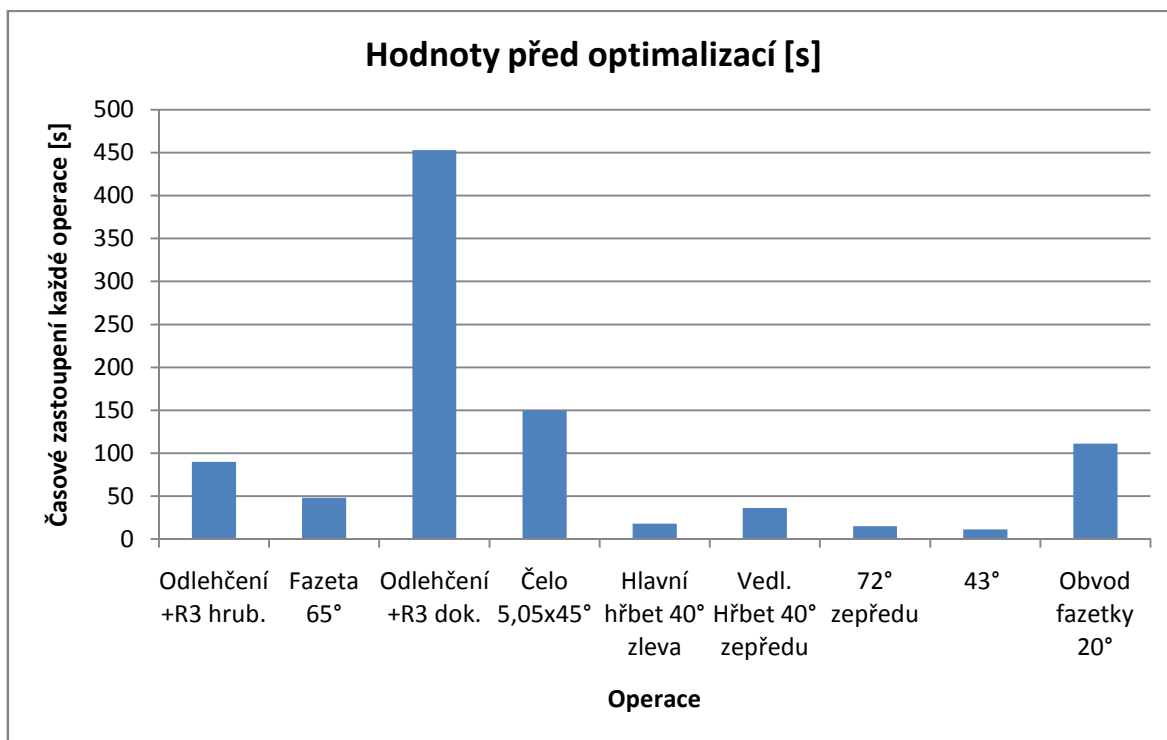
Co se optimalizace týče, pracuje se na ní neustále. Zatím největší podíl na ušetřeném čase měla operace, při níž se původně brousilo odlehčení s rádiem dvěma kotouči. Jednalo se o ploché kotouče typu 1A1 pro obvodové broušení, přičemž jedním kotoučem se hrubovalo a druhým dokončovalo. Posuv kotouče při broušení byl ve směru axiálním s osou obrobku. Jako nový kotouč byl zvolen plochý kotouč s vytvarovaným rádiem. Původní dvě operace byly spojeny do jedné. Novým kotoučem je nyní broušeno radiálně k ose obrobku. Tato optimalizace sice zvýšila pořizovací cenu kotouče, protože se nejedná o klasický tvar a musel být na zakázku vyroben, ale zároveň zkrátila dobu broušení tohoto odlehčení o bezmála dvě a půl minuty z původní doby 15 minut a 32 sekund na 13 minut a 11 sekund.

Následující tabulka (tab. 5.1) zobrazuje výrobní časy jednotlivých operací před a po optimalizaci.

tab. 5.1 – Časy jednotlivých operací

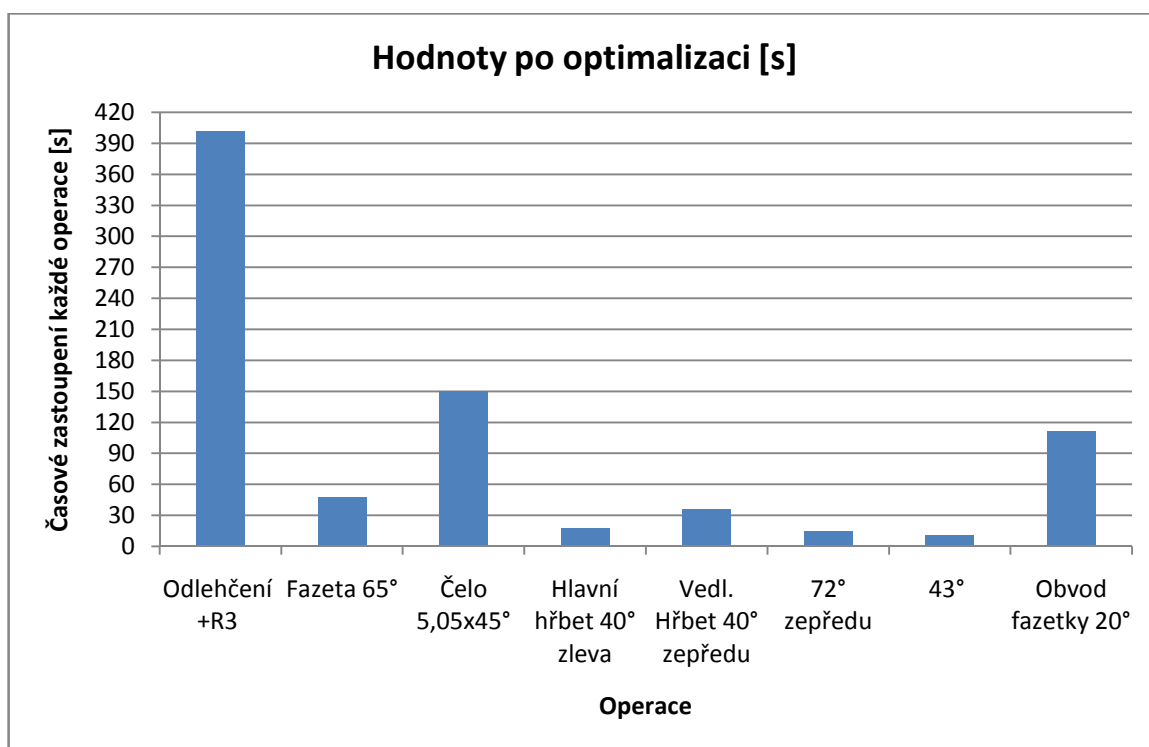
Operace	Délka před optimalizací [s]	Délka po optimalizaci [s]
Odlehčení + R3 hrubování	90	402 ¹
Fazeta 65°	48	48
Odlehčení + R3 dokončování	453	-
Čelo 5,05x45°	150	150
Hlavní hřbet 40° zleva	18	18
Vedlejší hřbet 40° zepředu	36	36
72° zepředu	15	15
43°	11	11
Obvod fazetky 20°	111	111
	Celkem: 932 s	Celkem 791 s

Následující grafy (obr. 5.1) a (obr. 5.2) zobrazují výrobní časy broušení jednotlivých ploch před a po optimalizaci.



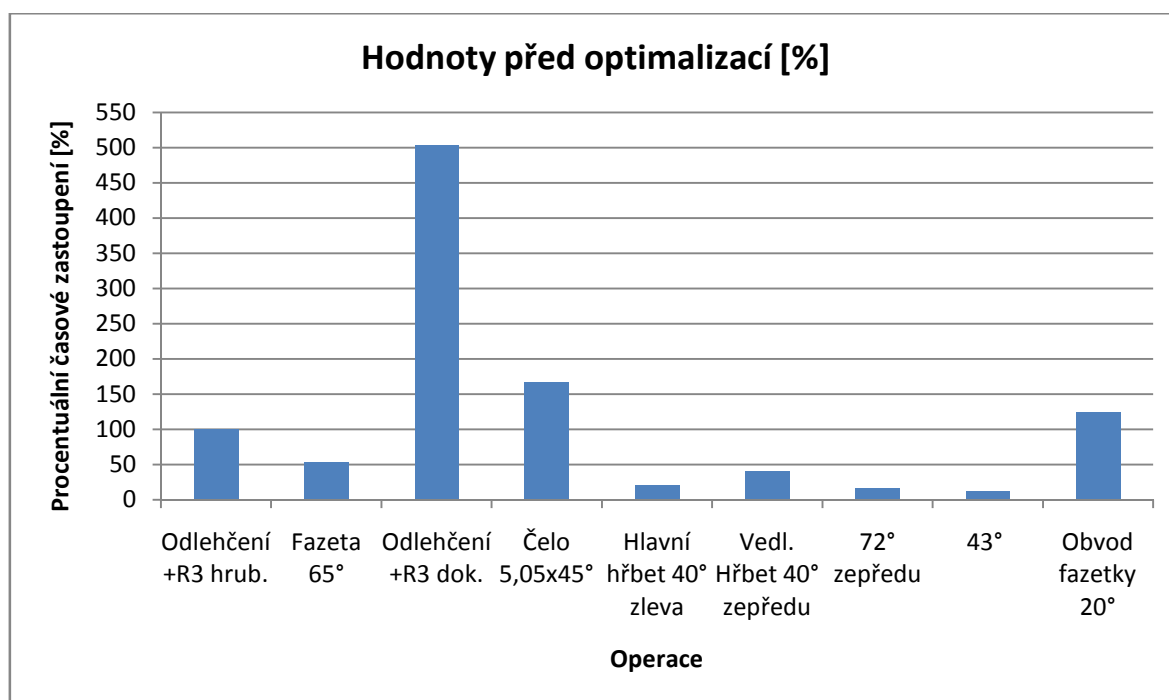
obr. 5.1 – Grafické vyobrazení časových hodnot jednotlivých operací před optimalizací.

¹ Spojení operací hrubování a dokončování do jedné s použitím jednoho kotouče.

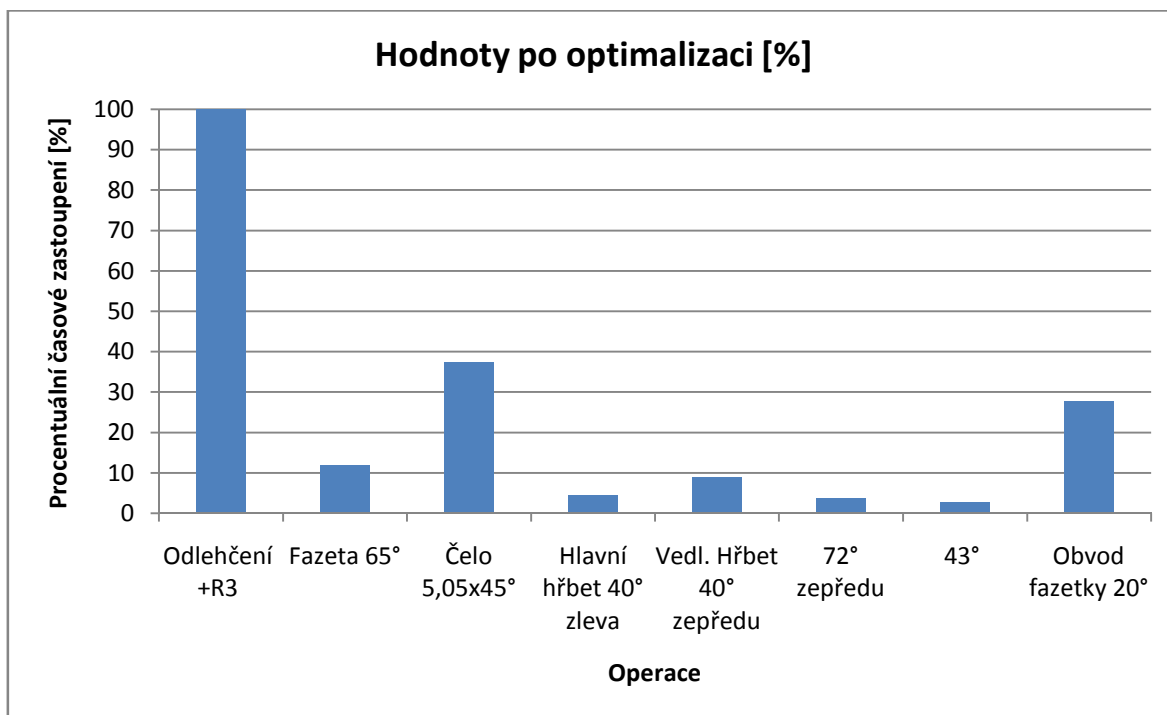


obr. 5.2 - Grafické vyobrazení časových hodnot jednotlivých operací po optimalizaci.

Grafy (obr. 5.3) a (obr. 5.4) zobrazují procentuální zastoupení jednotlivých operací před a po optimalizaci. Hodnoty jsou vždy vztaženy k první operaci o hodnotě 100 %.



obr. 5.3 - Grafické vyobrazení časových hodnot procentuálně vztažených k první operaci před optimalizací.



obr. 5.4 - Grafické vyobrazení časových hodnot procentuálně vztažených k první operaci po optimalizaci.

Dle zadané výkresové dokumentace, byl soustružnický nůž vyroben a splňuje veškeré rozměry výrobku v zadané výrobní toleranci. Výrobek po optimalizaci splnil počáteční kritérium nepřesáhnout stanovený finanční limit.

6 Závěr

Náplní této bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou technologii broušení, optimalizaci řezných podmínek, vhodnou technologii měření při výrobě monolitního soustružnického nože ze slinutého karbidu. Úvodní část byla věnována firmě Pramet, ve které byly prováděny veškeré operace na nástroji. V teoretické části byly popsány základní druhy a metody broušení dále brusné kotouče, jejich složení a vlastnosti. V posledním úseku teoretické části byly uvedeny informace o slinutých karbidech především jejich rozdělení, složení, mechanické a fyzikální vlastnosti. Praktická část pak popisuje materiál výrobku, operace broušení včetně řezných podmínek brusných kotoučů. Při měření nástroje bylo zjištěno, že daná várka byla vyrobena ve výrobních tolerancích. Při optimalizacích, které během vývoje proběhly, byl zkrácen počáteční výrobní čas o téměř dvě a půl minuty.

7 Seznam použité literatury

- [1] MASLOV, J.N. Teorie broušení kovů, 1. vydání. Praha, SNTL, 1979. 248 s.
- [2] HUMÁR, Antonín. Technologie I: Technologie obrábění 3 [online]. Brno, 2005 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf. Studijní opory. VUT-FSI v Brně.
- [3] MANGL, Petr. Optimalizace parametrů broušení slinutých karbidů diamantovými kotouči. Brno, 2009. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17851. Diplomová práce. VUT-FSI v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.
- [4] URDIAMANT, s.r.o. Brousící kotouče z diamantu a kubického nitridu boru. Šumperk, 2007, 80 s. Dostupné z: <http://www.urdiamant.cz/wpimages/other/doc2/BK.pdf>
- [5] WENDT. Diamond and CBN in Process. Zurich, 2008.
- [6] Diamantové nástroje. Diamantové nástroje, brusivo DIA-Praha s.r.o. [online]. 2007 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: http://www.diamantovekotouce.cz/fotocache/bigadd/zrnitosti_tabulka.jpg
- [7] Brusné kotouče z CBN a diamantu. Sebald s.r.o. [online]. 2009 [cit. 2015-02-19]. Dostupné z: <http://www.sebald.cz/cbn-a-diamant~c438.html>
- [8] MRKVICA, Ivan. Návod ke cvičení z obráběcích nástrojů. Ostrava, 2008. Skriptum - cvičebnice. VŠB-TUO.
- [9] Základní rozdělení slinutých karbidů dle ISO. TUMLIKOV.CZ [online]. 2010 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/zakladni-rozdeleni-slinutych-karbidu-dle-iso/>
- [10] HUMÁR, Antonín. Materiály pro řezné nástroje. Brno, 2006. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf. Studijní opory. VUT-FSI v Brně.

- [11] Cemented Carbide: Sandvik new developments and applications. SANDVIK AB: Sandviken [online]. Sweden, 2005 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: [http://www2.sandvik.com/sandvik/0130/HI/SE03411.nsf/2d2e706ae473b93dc1256b5600446430/651f6e334db04c46c125707600562c88/\\$FILE/Cemented%20Carbide.pdf](http://www2.sandvik.com/sandvik/0130/HI/SE03411.nsf/2d2e706ae473b93dc1256b5600446430/651f6e334db04c46c125707600562c88/$FILE/Cemented%20Carbide.pdf)
- [12] FLEXUS: The revolution in tool grinding. Ing. Šimůnek - Váš partner pro dodávky strojů a technologií [online]. 2009 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: http://www.ingsimunek.cz/wp-content/uploads/FLEXUS_EN-2012.pdf
- [13] Brusné oleje: Sintogrint TTK. Interspark Praha spol. s r.o [online]. 2013 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.interspark.cz/files/Sintogrint-TTK.pdf>
- [14] NUMROTOplus. NUM: CNC HighEnd Application [online]. 2011 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://www.num-usa.com/PCProCAM%5CBrochures%5CNumroto_E.pdf
- [15] Software pro výrobu a broušení nástrojů. MM: Průmyslové spektrum [online]. 2003 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/software-pro-vyrobu-a-brouseni-nastroju.html>
- [16] PROCHÁZKA, Karel. Měření délek: Mikrometrické měřidla [online]. Opava, 2011 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablon/KOM_III/VY_52_INOVACE_J-05-08.pdf. Učební opory. SŠPU Opava.
- [17] Měření a orýsování materiálu. JANÍČKOVÁ, Petra. Učíme v prostoru [online]. 2013 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=3258
- [18] TM-505/510 Series 176-Toolmaker's Microscopes. Mitutoyo USA [online]. 2013 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://ecatalog.mitutoyo.com/TM-505510-Series-176-Toolmakers-Microscopes-C1420.aspx>
- [19] O společnosti: Profil společnosti. DormerPramet [online]. 2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/cs-cz/company/who-we-are>
- [20] Parc machine. Viza-outillage [online]. 2014 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: http://www.viza-outillage.com/parc_machine.html
- [21] BRYCHTA, Josef. Nové směry v progresivním obrábění. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1505-3.

[22] HUŇKA, Radek. Rešerže nástrojových upínacích rozhraní frézovacích strojů. Brno, 2010. Bakalářská. VUT-FSI v Brně.

[23] Coromant Capto. Sandvik Coromant [online]. 2012 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant_capto/pages/default.aspx

[24] O společnosti. Pramet [online]. 2014 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: www.pramet.com/cz/o-spolecnosti/pramet-ceska-republika.html

8 Seznam příloh

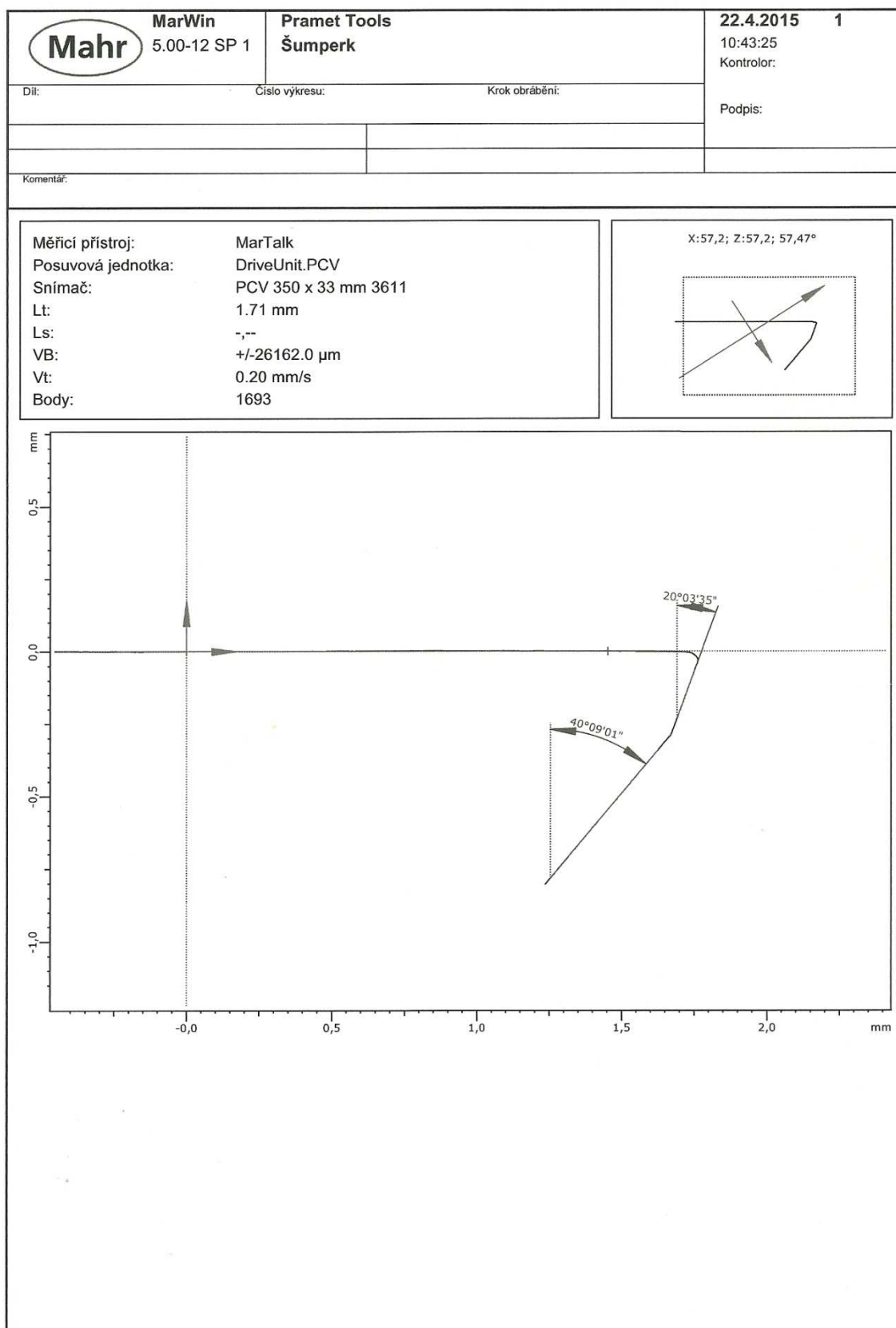
Příloha č. 1. Náměr úhlů hlavního hřbetu a úhlem zkosení mezi touto plochou a hranou hlavního ostří.

Příloha č. 2. Náměr pro úhel vedlejšího hřbetu a úhlem zkosení mezi touto plochou a vedlejším ostřím.

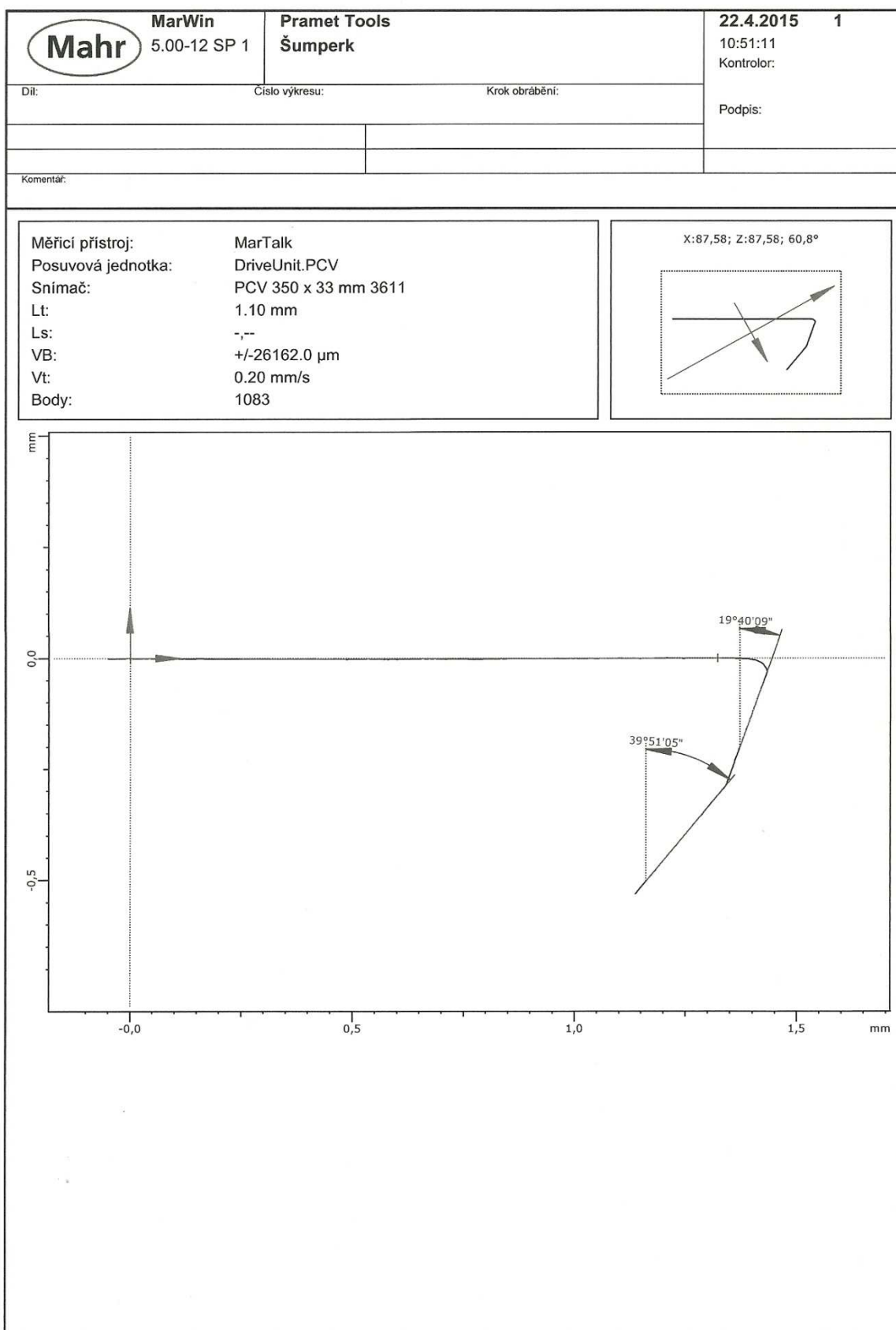
Příloha č. 3. Výrobní postup.

Příloha č. 4. Výrobní výkres soustružnického nože.

Příloha č. 1.



Příloha č. 2.



Příloha č. 3.

Materiál		96006712		Č.V.	SN-3-488-000/2
Postup		01,5X1X60-SPC-CP8-1308-115 ;CTS660			
Oper Prac		Pr	Str.	čas	Text operace
0010	N465	10	350.00	Brousit plochu na rozměr 5,3+/-0,05 mm./mikrometr/	
0020	FLEXUS	60	800.00	Brousit tvar včetně odlehčení./mikrometr,mikroskop/	
0030	FLEXUS	60	100.00	Zaoblit řeznou hranu 10+/-5 mikronů /perthometr/	
0040	PVDFINN		5.44	Umýt.	
0050	MAXITPVD		340.00	Povlakovat 276-6, 6M.MMFIX 317 06MAX07,317ks/proces	
0060	STATKONT		6.00	Statistická kontrola.	
0070	ZNACIT		6.00	Značit laser.	
0080	VBDBAL		12.00	Balit - krabičky PLASEL 6,5x85.	
Založ: 17.02.2015 NOVOTNAP Změna: 17.02.2015 NOVOTNAP Tisk: 13.03.2015 NOVOTNAP					